



Universidade de Aveiro

Departamento de Engenharia Civil

2008

**Eduardo Alexandre
Da Costa Reboredo**

COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE LOCAIS DE RESTAURAÇÃO



Eduardo Alexandre Da Costa Reboredo **COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE LOCAIS DE RESTAURAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Luísa Velosa, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil de Universidade de Aveiro e do Professor Doutor João de Lemos Pinto, Professor Catedrático do Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim
Professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João de Lemos Pinto
Professor catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio
Professor associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Ao concluir este trabalho quero deixar expresso o meu reconhecido agradecimento a todos os que, de alguma forma, contribuíram para a sua realização:

Mencionarei, em primeiro lugar, a Professora Doutora Ana Luísa Velosa, orientadora deste trabalho, pelo seu empenho, disponibilidade, bem como pelos ensinamentos, formulação de sugestões e pela revisão cuidada e atenta deste trabalho;

Ao Professor Doutor João Lemos Pinto, co-orientador deste trabalho, pela sua disponibilidade e apreciação do trabalho realizado;

Ao Engenheiro Edward Alves, representante da Certifer, Lda pelo empenho e dedicação na realização das medições, sendo ainda justo destacar todo o apoio prestado;

À empresa Certifer, Lda pela inteira disponibilização de todo o equipamento, fundamental para a realização das medições;

Ao Mestre Hélder Castanheira, Administrador para a Acção Social da UA, pela gentil autorização para efectuar os estudos nos Refeitórios da UA, sem a qual a efectivação desta dissertação não teria sido possível;

A todos os colaboradores dos Serviços de Acção Social e Serviços Técnicos da UA, pelas facilidades concedidas para a pesquisa de documentação e acesso aos refeitórios;

À Ana e ao Hugo pelo apoio e sugestões apresentadas durante a realização dos trabalhos;

Ao Professor Doutor A. P. Oliveira de Carvalho, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela simpatia, esclarecimento de dúvidas e partilha de conhecimentos;

Por último, agradeço à minha querida família e amigos o incentivo, apoio e compreensão constantes, durante a elaboração deste trabalho.

Palavras-chave

Acústica, restauração, ruído, tempo de reverberação, isolamento sonoro, incomodidade, soluções construtivas.

Resumo

O presente trabalho pretende avaliar o comportamento acústico de espaços de restauração, localizados no Campus da Universidade de Aveiro. Em locais de restauração são vários os aspectos que podem deteriorar o ambiente acústico.

Foram considerados para o estudo, três salas de refeição (Refeitório de Santiago, Refeitório e Restaurante do Complexo do Crasto), com épocas de construção diferentes. Para avaliar acusticamente os espaços recorreu-se à determinação de um parâmetro objectivo – o tempo de reverberação – através da aplicação de uma fórmula de previsão (formula de Sabine) e por medições *in situ*, aplicação do método do ruído interrompido. Avaliou-se o isolamento sonoro de cada um dos espaços, a partir de medições *in situ* e da variação do nível de pressão sonora, durante o período de funcionamento dos refeitórios. Foram comparados os valores obtidos, com os valores limites exigidos, definidos no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.

Numa última avaliação, foi efectuado um inquérito, com o intuito, de recolher opiniões sobre as condições acústicas dos refeitórios.

Os resultados das medições, revelaram a existência de valores de ruído que extravasam o espectro legal. Da aplicação do inquérito pode extrair-se ainda que, embora o nível de incomodidade seja elevado, o ruído que se faz sentir em cada uma das salas de refeição, não impede os utentes de continuarem a frequentar os espaços.

O estudo efectuado, em cada uma das salas localizadas em diferentes coordenadas geográficas do Campus Universitário, sugere a implementação de medidas correctivas ou até de soluções construtivas, capazes de criar um melhor ambiente acústico.

keywords

Acoustics, hospitality industry, noise, reverberation time, sound insulation, annoyance, constructive solutions.

Abstract

This study aims at the evaluation of the acoustic behaviour of dining spaces, located on the campus of the University of Aveiro. There are several aspects that may affect the acoustic environment of these spaces.

This study was focused on three dining rooms (Santiago canteen, Crasto Complex canteen and restaurant) with different times of construction. To perform the acoustic evaluation of each space an objective parameter was determined - the reverberation time. The reverberation time was obtained through two different methods: a theoretic method based on the application of a prediction formula (Sabine formula); and a practical one based on *in situ* measurements with the application of the interrupted noise method. The sound insulation of each space was also evaluated with *in situ* measurements and variation of the sound pressure level during canteens' working time. The obtained values were compared with the mandatory limits defined in the Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.

In a final evaluation, a survey was conducted, with the objective of collecting the users' opinion about the acoustic conditions of the canteens.

The results of the measurements revealed the existence of noise values that go beyond the legal spectrum. From the survey results it can be verified that, although the level of discomfort is high, the noise that is felt in each of the dining rooms, does not keep users from continuing to attend the canteens.

The study, developed in each of the canteens located in different geographic coordinates of the University Campus, suggests a need for implementation of corrective measures or even new constructive solutions, in order to provide a better acoustic environment.

Índice

Índice de Figuras	xvii
Índice de Tabelas	xxi
Abreviaturas e Símbolos.....	xxv
1. Introdução	1
1.1 Considerações gerais.....	1
1.2 Objectivos do estudo.....	2
2. Enquadramento	5
2.1 Abordagem histórica.....	5
2.2 Desenvolvimentos recentes.....	7
2.3 Conceitos fundamentais da acústica aplicada	9
2.4 Acústica em salas fechadas.....	13
2.4.1 Características acústicas das salas.....	17
2.4.2 Método do ruído interrompido	18
2.4.3 Parâmetros acústicos objectivos.....	18
2.4.4 Parâmetros acústicos subjectivos	21
2.5 Regulamentação aplicável	22
3. Metodologia aplicada	23
3.1 Selecção dos refeitórios	23
3.2 Recolha de Dados	24
3.3 Descrição dos refeitórios.....	24
3.3.1 Refeitório do Crasto	24
3.3.2 Refeitório de Santiago.....	29
3.3.3 Restaurante do Complexo do Crasto.....	34
3.4 Parâmetros Acústicos a Analisar	36
3.5 Equipamento Utilizado	36
3.6 Determinação dos parâmetros acústicos	37
3.6.1 Cálculo do tempo de reverberação. Aplicação teórica.....	39
3.6.2 Cálculo do tempo de reverberação. Medições <i>in situ</i>	44
3.6.3 Cálculo do isolamento sonoro. Medições <i>in situ</i>	48
3.6.3.1 Isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos.....	48
3.6.3.2 Isolamento sonoro a sons de percussão	51

3.6.3.3 Isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas.....	53
3.6.4 Determinação da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente	56
3.7 Caracterização subjectiva - inquérito.....	58
4. Resultados obtidos.....	61
4.1 Resultados obtidos através do cálculo do tempo de reverberação.....	61
4.2 Resultados das medições dos tempos de reverberação.....	64
4.3 Resultado das medições do isolamento sonoro no Refeitório e Restaurante do Crasto	74
4.4 Resultado das medições da variação dos níveis de pressão sonora equivalente.....	75
4.5 Resultados globais do inquérito	76
5 Análise global dos resultados	79
5.1 Análise do tempo de reverberação. Cálculo teórico	79
5.1.1 Comparação do tempo de reverberação calculado com os valores limites regulamentares	81
5.2 Análise do tempo de reverberação. Medições <i>in situ</i>	82
5.2.1 Análise intra-salas	82
5.2.2 Análise global entre salas.....	87
5.2.3 Comparação dos valores do tempo de reverberação medidos e dos valores limites regulamentares	89
5.3 Comparação dos valores do tempo de reverberação medidos e calculados.....	90
5.4 Medidas correctivas para os tempos de reverberação.....	91
5.5 Análise do isolamento sonoro.....	93
5.5.1 Análise do isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão.....	93
5.5.2 Análise do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas	94
5.6 Análise da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente	95
5.7 Análise do Inquérito.....	97
5.8 Relação entre a análise subjectiva e os parâmetros acústicos.....	105
6. Conclusão	107
Referências bibliográficas	111

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Partícula do meio oscila em torno da sua posição de equilíbrio.....	9
Figura 2.2 - As variações de pressão em função do tempo (Gamelas, 2008).....	9
Figura 2.3 – Gamas de frequência (IPB, 2008)	11
Figura 2.4 – Curvas de igual sensibilidade auditiva (Carvalho, 2004).....	12
Figura 2.6 – Som directo e reflectido (Denicoló, 2007).....	14
Figura 2.7 – Coeficientes de absorção em função da espessura (IPB, 2008).....	15
Figura 2.8 – Sons aéreos e de percussão (Gamelas, 2008).....	15
Figura 2.9 – Tempo de Reverberação (Tadeu; Mateus, 2001)	18
Figura 2.10 - Tempos de reverberação adequados para salas típicas usadas no ensino (Acoustical Society of America, 2000)	20
Figura 2.11 – Quadro III do Anexo do Decreto-lei nº 96/2009.....	22
Figura 3.1 – Localização dos Refeitórios (www.ua.pt/).....	23
Figura 3.2 – Edifício do Complexo de Refeitórios do Crasto	25
Figura 3.3 – Vista geral do interior da sala do refeitório do Crasto	25
Figura 3.4 – Pormenor do pavimento autonivelante epoxi.....	26
Figura 3.5 – Pormenor da saída de emergência e das guardas ao vão aberto.....	26
Figura 3.6 – Pormenor da parede divisória da cozinha	27
Figura 3.7 – Pormenor da parede lateral composta por betão à vista e por janelas de grandes dimensões.....	27
Figura 3.8 – Pormenor da parede envidraçada	27
Figura 3.9 – Pormenor do tecto constituído por tecto falso e betão à vista.....	28
Figura 3.10 – Pormenor do equipamento em inox	28
Figura 3.11 – Pormenor da mobília de plástico (mesas e cadeiras)	29
Figura 3.12 – Edifício da Zona Técnica Central e Serviços de Acção Social.....	30
Figura 3.13 - Vista geral do interior da sala do Refeitório de Santiago	30
Figura 3.14 – Pormenor do tecto alveolar em betão à vista	31
Figura 3.15 – Pormenor do tecto constituído por em ripas de madeira, e do pavimento revestido a ladrilho cerâmico.....	31
Figura 3.16 – Pormenor da divisória constituído por envidraçado	32
Figura 3.17 – Pormenor das janelas de grandes dimensões	32
Figura 3.18 – Pormenor do equipamento em inox	33
Figura 3.19 – Pormenor do mobiliário de madeira (mesas e cadeiras)	33

Figura 3.20 – Vista geral do restaurante do Crasto	34
Figura 3.21 – Pormenor do pavimento em pedra de vidroço.....	34
Figura 3.22 – Pormenor da parede divisória de betão à vista.....	35
Figura 3.23 – Pormenor da fachada envidraçada	35
Figura 3.24 – Pormenor do lambril em contraplacado MDF em faia.....	36
Figura 3.25- Fonte de pressão sonora (http://www.cesva.com)	44
Figura 3.26 – Sonómetro (http://www.cesva.com).....	45
Figura 3.27 – Calibrador sonoro (http://www.cesva.com)	46
Figura 3.28 – Posições da fonte sonora e do sonómetro no Refeitório do Crasto.....	46
Figura 3.29 – Posições da fonte sonora e do sonómetro no Refeitório de Santiago	47
Figura 3.30 – Posições da fonte sonora e do sonómetro no Restaurante do Crasto	48
Figura 3.32 – Máquina de impacto (http://www.cesva.com)	51
Figura 3.33 – Posicionamentos da fonte de emissão sonora nas medições do isolamento sonoro a sons de percussão	52
Figura 3.34 – Refeitório do Crasto - Posicionamentos da Fonte de emissão sonora e sonómetro, nas medições do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada	55
Figura 3.35 – Restaurante do Crasto - Posicionamentos da Fonte de emissão sonora e sonómetro, nas medições do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada	56
Figura 3.36 – Refeitório do Crasto - Posição do sonómetro para a medição da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente.	57
Figura 3.37 – Refeitório de Santiago - Posição do sonómetro para a medição da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente.	58
Figura 4.1 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório do Crasto (Fonte 1) em bandas de oitava.....	65
Figura 4.2 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 2) em bandas de oitava.....	65
Figura 4.3 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 3) em bandas de oitava.....	66
Figura 4.4 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 4) em bandas de oitava.....	67
Figura 4.5 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 4) em bandas de oitava.....	68

Figura 4.6 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 1) em bandas de oitava.....	69
Figura 4.7 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 3) em bandas de oitava.....	69
Figura 4.8 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 3) em bandas de oitava.....	70
Figura 4.9 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago em bandas de oitava	71
Figura 4.10 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (Fonte 1) em bandas de oitava.....	72
Figura 4.11 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (Fonte 2) em bandas de oitava.....	73
Figura 4.12 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) globais medidos no Restaurante do Crasto em bandas de oitava.	74
Figura 4.13 – Refeitório do Crasto – Gráfico representativo da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente	75
Figura 4.14 – Refeitório de Santiago – Gráfico representativo da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente	76
Figura 5.1 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação calculados para as frequências de 500Hz a 2000Hz, das salas.....	80
Figura 5.2 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação relativo às diferentes fontes sonoras, no Refeitório do Crasto	83
Figura 5.3 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação relativo às diferentes fontes sonoras, no Refeitório de Santiago.....	84
Figura 5.4 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação relativo às diferentes fontes sonoras, no restaurante do Crasto.....	86
Figura 5.5 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação medidos para as frequências de 500Hz a 2000Hz, das salas	88
Figura 5.6 – Pormenor da constituição da laje do piso, no refeitório do Crasto.	93
Figura 5.7 – Pormenor da solução a sons de percussão, no Refeitório do Crasto.....	94
Figura 5.8 – Pormenor da constituição da fachada, no refeitório do Crasto.	95
Figura 5.9 – Gráfico representativo da variação do nível de pressão sonora equivalente medido nos refeitórios	96

Figura 5.10 – Gráfico representativo das respostas à questão 2 do inquérito	97
Figura 5.11 – Gráfico representativo das respostas à questão 3 do inquérito	98
Figura 5.12 – Gráfico representativo das respostas à questão 4 do inquérito	98
Figura 5.13 – Gráfico representativo das respostas à questão 5 do inquérito – Refeitório do Crasto.....	99
Figura 5.14 – Gráfico representativo das respostas à questão 5 do inquérito – Refeitório de Santiago	99
Figura 5.15 – Gráfico representativo das respostas à questão 6 do inquérito	100
Figura 5.16 – Gráfico representativo das respostas à questão 7 do inquérito	101
Figura 5.17 – Gráfico representativo das respostas à questão 8 do inquérito	101
Figura 5.18 – Gráfico representativo das respostas à questão 9 do inquérito	102
Figura 5.19 – Gráfico representativo das respostas à questão 9 do inquérito	102
Figura 5.20 – Gráfico representativo das respostas à questão 10 do inquérito	103
Figura 5.21 – Gráfico representativo das respostas à questão 11 do inquérito	104

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Volumes e áreas das salas	24
Tabela 3.2- Equipamento utilizado nas medições <i>in situ</i>	37
Tabela 3.3 – Mapa de acabamentos das salas em estudo	39
Tabela 3.4 – Áreas dos elementos constituintes da sala do Refeitório do Crasto	40
Tabela 3.5 – Equipamento existente no Refeitório do Crasto	41
Tabela 3.6 – Coeficientes de absorção sonora do material existente no Refeitório do Crasto	41
Tabela 3.8 – Equipamento existente no Refeitório de Santiago.....	42
Tabela 3.9 – Coeficientes de absorção sonora do material existente no Refeitório do Santiago	43
Tabela 3.10 – Áreas dos elementos constituintes da sala do Restaurante do Crasto.....	43
Tabela 3.11 – Coeficientes de absorção sonora do material existente no Restaurante do Crasto.....	44
Tabela 4.1 – Área de absorção sonora equivalente para o Refeitório do Crasto.....	61
Tabela 4.2 – Tempos de Reverberação para o Refeitório do Crasto	62
Tabela 4.3 – Área de absorção sonora equivalente para o Refeitório de Santiago.....	62
Tabela 4.4 – Tempos de Reverberação para o Refeitório de Santiago.....	63
Tabela 4.5 – Área de absorção sonora equivalente para o Restaurante do Crasto	63
Tabela 4.6 – Tempos de Reverberação para o Restaurante do Crasto	63
Tabela 4.7 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório do Crasto (Fonte 1) em bandas de oitava	64
Tabela 4.8 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 2) em bandas de oitava	65
Tabela 4.9 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 3) em bandas de oitava	66
Tabela 4.10 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 4) em bandas de oitava	66
Tabela 4.11 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório do Crasto (bandas de oitava).....	67
Tabela 4.12 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 1) em bandas de oitava	68
Tabela 4.13 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 2) em bandas de oitava	69

Tabela 4.14 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 3) em bandas de oitava	70
Tabela 4.15 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (bandas de oitava)	71
Tabela 4.16 - Tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (Fonte 1) em bandas de oitava	72
Tabela 4.17 - Tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (Fonte 2) em bandas de oitava	73
Tabela 4.18 - Tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (bandas de oitava)	74
Tabela 4.19 – Resultados globais das respostas ao inquérito	77
Tabela 5.1 - Valores do tempo de Reverberação calculados para as frequências de 500Hz a 2000Hz, das Salas.....	79
Tabela 5.2 – Comparação dos Tempos de Reverberação calculados com os valores limites regulamentares.....	81
Tabela 5.3 – Tempos de Reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Refeitório do Crasto.....	82
Tabela 5.4 – Valores do desvio padrão para os tempos de reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Refeitório do Crasto.....	83
Tabela 5.5 – Tempos de Reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Refeitório de Santiago	84
Tabela 5.6 – Valores do desvio padrão para os tempos de reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Refeitório de Santiago	84
Tabela 5.7 – Tempos de Reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Restaurante do Crasto.....	85
Tabela 5.8 – Valores do desvio padrão para os tempos de reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Restaurante do Crasto	85
Tabela 5.9 – Tempos de Reverberação relativos às diferentes fontes sonoras nas salas.....	86
Tabela 5.10 – Valores do tempo de reverberação medidos para as frequências de 500Hz a 2000Hz, para o Refeitório do Crasto	87
Tabela 5.11 - Valores do tempo de reverberação medidos para as frequências de 500Hz a 2000Hz, para o Refeitório de Santiago.....	87
Tabela 5.12 - Valores do tempo de reverberação medidos para as frequências de 500Hz a 2000Hz, para o Restaurante do Crasto	87
Tabela 5.13 – Comparação dos Tempos de Reverberação medidos com os valores limites regulamentares.....	89

Tabela 5.14 – Comparação entre os valores calculados e medidos, do tempo de reverberação.....	90
Tabela 5.15 – Coeficientes de absorção, da aplicação da medida correctiva.....	92
Tabela 5.16 – Valores dos tempos de reverberação após aplicação de solução construtiva nas salas	92

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas:

dB	<i>Decibéis</i>
DnT	<i>Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos, padronizado</i>
DnT,w	<i>Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre compartimentos, padronizado</i>
D2m,n,T	<i>Isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachada, padronizado</i>
D2 m, nT ,w	<i>Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea de fachada, padronizado</i>
FS	<i>Fonte Sonora</i>
LAeq	<i>Nível de pressão sonora continuo equivalente , ponderado A</i>
Leq	<i>Nível de pressão sonora continuo equivalente</i>
L'nT	<i>Nível sonoro de percussão padronizado</i>
L'nT,w	<i>Índice de isolamento sonoro a sons de percussão</i>
m	<i>Metro</i>
s	<i>Segundo</i>
T	<i>Período</i>
TR	<i>Tempo de Reverberação</i>
λ	<i>Comprimento de onda</i>

Lista de símbolos:

A	<i>Área de absorção sonora equivalente</i>
A _{ar}	<i>Área sonora equivalente do volume de ar contido no compartimento em m²</i>
A _{obj,j}	<i>Área de absorção sonora de um objecto com dimensão irregular em m²</i>
c	<i>Velocidade de propagação do som no ar</i>
f	<i>Frequência</i>
L _i	<i>Nível médio de pressão sonora no local emissor no compartimento receptor</i>
L ₁	<i>Nível médio de pressão sonora no local emissor</i>
L ₂	<i>Nível médio de pressão Sonora no local receptor</i>
L _{1,2}	<i>Nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício</i>
S _n	<i>Área de cada elemento que forma o compartimento em m²</i>
S _k	<i>Área sonora equivalente de objectos e pessoas em m²</i>
T	<i>Tempo de reverberação do compartimento</i>
T ₀	<i>Tempo de reverberação de referência</i>
V	<i>Volume</i>
$\alpha_{s,n}$	<i>Coefficiente de absorção sonora equivalente de cada elemento</i>
$\alpha_{s,k}$	<i>Coefficiente de absorção sonora equivalente de objectos e pessoas</i>

1. Introdução

1.1 Considerações gerais

A acústica de edifícios tem vindo a assumir, cada vez mais, um importante papel e tem vindo a consolidar-se como uma área de estudos especializada tanto na fase de projecto como na reabilitação. A protecção máxima contra o ruído, nos espaços habitáveis, deverá ser um dos principais focos dos projectistas da actualidade. Assim, torna-se imperativa a existência de um estudo de condicionamento acústico, desde a fase inicial de projecto, e não apenas como medida correctiva (Leão, 1994).

A acústica de edifícios pressupõe a existência de duas perspectivas distintas (Carvalho, 2004): a primeira, respeitante à correcção acústica, refere-se à correcção de um compartimento para o som aí emitido, como as situações em salas (salas de aulas, de concertos, auditório), onde o som produzido e audível, com qualidade, torna-se numa das principais razões do estudo acústico; a segunda perspectiva prende-se com o isolamento sonoro no tratamento de um compartimento para sons de e para locais contíguos. Sendo a acústica, um dos requisitos de qualidade das construções, é fundamental que o comportamento acústico dos espaços seja controlado de forma a proporcionar bem-estar ao Homem.

O ruído é visto, hoje em dia, com uma acentuada preocupação. A perda de audição é um fenómeno cada vez mais comum, dados recentes calculam que afecte 10% da população mundial. Na maior parte dos casos, a perda auditiva é a consequência natural da evolução do sistema auditivo, mas muitos jovens, actualmente, sofrem já deste problema, em grande parte, devido à frequente exposição a níveis de ruído muito elevados.

Existe alguma subjectividade na percepção sonora: o que para uns pode ser som, para outros pode constituir ruído, e daí a necessidade de haver legislação para limitar variados parâmetros relativos à produção de ruído (Carvalho, 2004).

O conhecimento das características das fontes de ruído é essencial para a elaboração de um programa que vise a definição dos trabalhos a efectuar, para dotar o edifício de características adequadas à utilização prevista. O isolamento sonoro pressupõe a existência de dois espaços: um onde se produzem estímulos sonoros e outro onde se pretende que esses estímulos apresentem um nível tão baixo quanto possível. (Leão, 1994).

Em locais de restauração, são vários os aspectos que podem deteriorar o ambiente acústico. O ruído excessivo nestes locais decorre de um ciclo em que uma diversidade de conversas gera um ambiente ruidoso, o que leva os ocupantes a elevar o tom de voz. Como factor de perpetuação do ruído, estes locais normalmente apresentam uma grande quantidade de superfícies duras (mesas, pisos e balcões) facilitadoras das acções de limpeza. Esta situação traduz-se numa abundância de grandes superfícies reflectoras que intensificam as reverberações de som, através das salas. O desejável será proceder à medição do ruído em espaços de restauração e sugerir medidas correctivas diminuindo o ruído de fundo, através da redução do tempo reverberação, proporcionando assim um ambiente agradável, onde os clientes podem ouvir e serem ouvidos (Netwell Noise Control, 2007).

1.2 Objectivos do estudo

O objectivo deste trabalho prende-se com o estudo do comportamento acústico em locais de restauração, com enfoque no estudo dos refeitórios da Universidade de Aveiro.

Conhecer e comparar factores objectivos com factores subjectivos foi um ponto essencial de análise neste de estudo. Se, por um lado, o estudo apresentou uma caracterização dos espaços, através de medições físicas baseadas em resultados quantificáveis, por outro, os factores subjectivos apresentam algumas dificuldades de quantificação. Aferir quais os níveis de satisfação dos utilizadores e o que esperam de um determinado espaço, para que este apresente as condições aceitáveis de conforto acústico, foram alguns dos critérios em análise.

As formas de construção, assim como os materiais utilizados, revelaram-se essenciais para a atenuação do ruído; desta forma foi efectuado o levantamento e descrição dos espaços, materiais, revestimentos utilizados e equipamento existente nos locais a estudar.

Para o desenvolvimento deste projecto recorreu-se à análise de parâmetros objectivos (TR), ao estudo do isolamento acústico (DnT,w , $D2m,nT,w$ e $L'nT,w$). Com o levantamento destes parâmetros foi possível então comparar os vários espaços - visto terem sido construídos em anos distintos - assim como, comparar os resultados obtidos com os valores limites regulamentados.

Procedeu-se, também, a uma caracterização subjectiva, atendendo aos resultados obtidos no inquérito lançado aos utilizadores dos espaços, que pretendeu aferir qual a relação entre o conforto percepcionado e as exigências regulamentadas.

2. Enquadramento

A evolução da acústica revela um contributo longo de comunicação e colaboração interdisciplinar, sendo reconhecida como uma ciência transversal a vários domínios do conhecimento. A sua integração, ao nível da engenharia, encontra-se perfeitamente estabelecida dados os conhecimentos e meios técnicos disponíveis na actualidade. (Gonçalves, 2007).

Na área da construção é imprescindível reconhecer a importância da aplicação dos conceitos e técnicas da acústica. É nos edifícios que passamos a maior parte do tempo, seja em actividades de lazer, trabalho ou de simples repouso e, portanto, a qualidade acústica nos edifícios é fundamental.

Em Portugal a acústica passou de um passado de esquecimento, ou simples desprezo, para um crescente interesse. Se antigamente, a construção de salas com uma acústica inadequada era frequente, o investimento em grandes obras, como por exemplo, a Casa da Musica, no Porto, e vários novos teatros com comportamentos acústicos excelentes, tem vindo a conhecer um aumento gradual (Carvalho, 2004).

2.1 Abordagem histórica

Os estudos sobre acústica iniciaram-se nos séculos VI a III a. C. pela mão de filósofos como, Pitágoras, Cripius, entre outros, estando estes estudos relacionados com a origem e propagação do som. Sobre a acústica arquitectónica o primeiro registo que se conhece deve-se a um engenheiro e arquitecto romano, Marcus Vitruvius Pollio, que escreveu sobre a acústica dos teatros gregos (Figueiredo, 2005).

O maior nome ligado à acústica dos edifícios, o físico Wallace C. Sabine, nasceu no início do século XX. O seu primeiro estudo debruçou-se sobre os problemas acústicos, ao nível dos sons reflectidos, de um auditório. Sabine constatou que o tempo de reverberação dependia da quantidade de energia sonora que era perdida, devido aos materiais absorventes, iniciando então as suas pesquisas para a determinação dos coeficientes de absorção e assim se determinou a fórmula matemática que ainda hoje é utilizada e conhecida como “fórmula de Sabine”, para determinação do tempo de reverberação.

Mais tarde, outros estudiosos, como o Eyrig e Norris, aperfeiçoaram e adaptaram a fórmula de Sabine. No entanto, em 1965 todos os métodos experimentais utilizados para obtenção dos tempos de reverberação, tornaram-se obsoletos, quando Manfred Schroeder publicou o método do impulso integrado.

Estudos sobre a difusão, feitos por Meyer, começaram a ganhar força, assim como os fenómenos referentes aos primeiros instantes do decaimento da energia, chegando a relacionar fórmulas matemáticas com parâmetros subjectivos, a que chamou de “clareza” ou “definição”.

Contudo, apesar destes avanços continuaram a verificar-se problemas sérios com os comportamentos acústicos. Salas com tempos de reverberação iguais soavam de maneira diferente, e estava assim verificado que existiam outros parâmetros acústicos que teriam de ser considerados.

Leo Beranek, (1965) abriu portas para uma nova abordagem sobre a acústica de salas propondo, para além do tempo de reverberação, uma extensa família de parâmetros (intimismo, vivacidade, clareza,...) que deveriam caracterizar por completo a qualidade acústica de uma sala de música. Beranek estudou inúmeras salas para chegar à definição dos critérios, determinados com base em semelhanças e diferenças acústicas observadas e, comparados com avaliações subjectivas, chegou a um conjunto de parâmetros fundamentais para avaliar a qualidade acústica das salas, aplicados até aos dias de hoje.

Pesquisas seguintes foram direccionadas para as medições das salas em função dos parâmetros conhecidos. Na década de 70 já havia um grande avanço nas técnicas de medição, tanto da resposta impulsiva, como do tempo de reverberação e dos demais parâmetros. Com o avanço da capacidade e velocidade dos computadores foi então possível implementar novas técnicas que revolucionaram a produção científica, factos que ainda hoje permitem fazer novas descobertas e estudos de novas técnicas para o estudo da acústica (Figueiredo, 2005).

2.2 Desenvolvimentos recentes

Na actualidade existe uma vasta informação sobre o comportamento e características acústicas de determinados espaços públicos, tais como auditórios, salas de espectáculos, salas de aulas, salas de audiências de tribunais e igrejas. No entanto em relação a edifícios destinados à restauração a informação sobre o comportamento acústico é ainda bastante escassa, sendo que em Portugal ainda não existem pareceres nesta matéria.

Sobre este tema é importante questionar o que constitui boas condições acústicas para um ambiente social em bares, cafés e restaurantes, ou ainda o que a população em geral espera e considera como condições aceitáveis para permanecer num determinado local. Um estudo efectuado na Nova Zelândia (Christie; Bell-Booth, 2004) tenta responder a estas perguntas, estabelecendo relações entre aquilo que as pessoas esperam e desejam, neste tipo de ambientes, e os valores acústicos relevantes, obtidos através de medições físicas efectuadas nos espaços considerandos.

Estudos anteriores (Rindel, 2002) têm concluído que estes espaços constituem ambientes com condições desfavoráveis a uma interacção social confortável, apresentando valores de ruídos médios superiores aos regulamentados. No entanto é fundamental reter que uma vasta quantidade de factores subjectivos leva a que seja difícil quantificar o nível de conforto, e determina-lo através de parâmetros objectivos. Este estudo concluiu que mesmo que os factores objectivos determinem resultados pouco satisfatórios para a caracterização acústica dos espaços, os utilizadores consideram as condições aceitáveis. Existe assim, uma falta de relacionamento entre parâmetros objectivos e subjectivos. Pode-se então questionar se, porventura, o problema não esteja em melhorar os ambientes dos espaços, mas antes os actuais padrões que necessitam de ser reavaliados (Christie; Bell-Booth, 2004).

Uma técnica recente para a redução dos níveis de ruído nos espaços, frequentados pelo Homem, consiste através da optimização da topologia (Dühring et al, 2008), minimizando os níveis sonoros. Primeiramente são considerados os problemas acústicos das salas em questão. Assim, demonstra-se que o nível sonoro pode ser reduzido numa determinada parte da sala, através da distribuição optimizada de material reflector, ao longo do tecto, ou através da distribuição de material de absorção e reflexão ao longo das paredes. No controlo do ruído de forma activa o som é cancelado, através da utilização de técnicas electro-acústicas (Elliot; Nelson, 1990), já no controlo de ruído, de forma passiva,

procura-se encontrar a forma óptima da sala ou reduzir o ruído, através do uso de absorventes sonoros, tais como materiais porosos, ressonantes ou membranas absorventes (Kuttruff, 2000). Este método permite a redução de ruído usando métodos passivos, através da optimização da distribuição de materiais.

O comportamento acústico de salas reais tem sido determinado não só através da simulação em computador, como através da execução de modelos à escala. Métodos como fontes virtuais (*image source*) e traçado de raios (*ray-tracing*) (Congzhe; Yue, 2001) têm também sido utilizados para prever o comportamento acústico. No entanto, estes métodos não têm em conta as propriedades difusoras das superfícies. Outros métodos têm sido desenvolvidos, de forma a ter em conta estas propriedades. Têm-se utilizado modelos à escala, acusticamente precisos para o projecto de salas e estudos das suas propriedades acústicas, sendo mais fiáveis na precisão de parâmetros como a difusão e difracção. Num estudo recente (Jeon et al, 2008) foi utilizado um modelo à escala para avaliar os coeficientes de absorção dos vários elementos presentes numa sala multi-usos, procurou-se obter resultados que indicassem, os materiais a utilizar nos elementos (cadeiras, painéis de absorção) da sala real, bem como a topologia geométrica ideal para a sala.

Num contexto geral da construção, cada vez mais tem de haver uma preocupação na introdução de projectos acústicos, nas fases iniciais do projecto de construção, de modo a fomentar a sua eficácia. Os desenvolvimentos recentes, nas tecnologias da construção, podem resultar em melhorias na qualidade geral do edifício e no conforto que o edifício oferece aos seus ocupantes. Uma nova tecnologia de construção denominada “*Mixed Building Technology*” (MBT) visa oferecer melhorias originais e importantes em termos estéticos, funcionais e económicos. As melhorias resultam do rácio favorável entre peso e espessura e isolamento dos materiais usados na construção MBT, em relação aos métodos convencionais. Este conceito tem sido desenvolvido pelo mundo inteiro (com especial enfoque na Europa), em consequência do reconhecimento recente de que há uma necessidade de edifícios urbanos de elevada qualidade, assente na relação entre a qualidade e o baixo custo, daí a necessidade de se exigir o desenvolvimento de novas e apropriadas estratégias para os arquitectos, sociólogos, técnicos de planeamento urbanos, autoridades locais e engenheiros (Bragança; Patrício, 2004).

2.3 Conceitos fundamentais da acústica aplicada

O **som** é uma qualquer variação da pressão no ar que pode ser detectada pelo ouvido humano. Quando um corpo vibra produz uma perturbação mecânica num meio elástico, que se propaga ao longo desse mesmo meio. As partículas submetidas a vibração não se propagam sem que oscilem em torno da sua posição de equilíbrio. (Villaroig; Diaz, 2006).

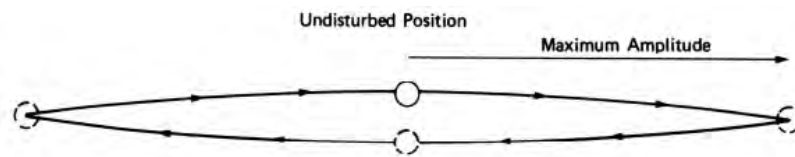


Figura 2.1 - Partícula do meio oscila em torno da sua posição de equilíbrio

(Gonçalves, 2007)

A **variação de pressão** é propagada pela colisão sucessiva das moléculas do meio (ar). Esta variação de pressão sobrepõe-se à pressão atmosférica e são estas variações (em torno da pressão atmosférica) que os nossos ouvidos detectam. A variação da pressão, em função do tempo, é representada num gráfico sinusoidal.

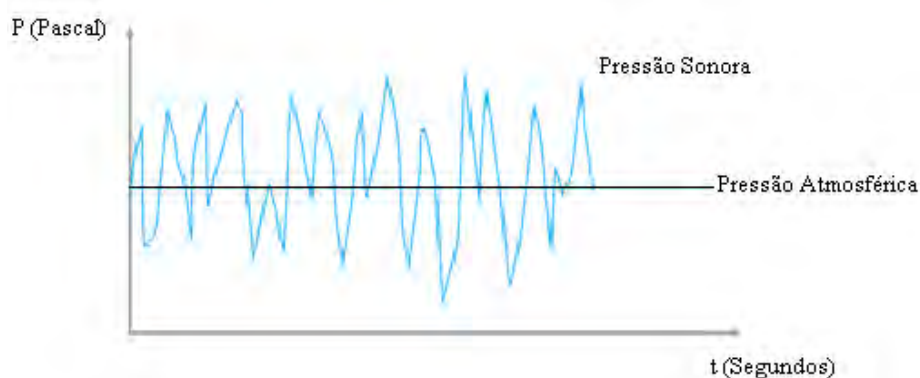


Figura 2.2 - As variações de pressão em função do tempo (Gamelas, 2008)

Através desta representação das ondas sonoras podem retirar-se variadas informações sobre características fundamentais do som, tais como, o período, a frequência e o comprimento de onda.

O período (T), é definido como o tempo necessário para se realizar um ciclo completo. Este é definido em segundos (s) e está relacionado com a frequência:

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{Equação 2.1}$$

A frequência (f) é definida como o número de variações de pressão da fonte emissora, por segundo. A unidade é o Hertz (Hz). Quase todos os sons contêm diferentes frequências. Uma fonte sonora é, muitas vezes, diferenciável de outra também pelas frequências que emite. Tome-se como exemplo, o ruído do motor de um grande barco tem um som grave porque contém uma predominância de baixas frequências; já uma serra eléctrica, em funcionamento, soa com um ruído agudo porque contém altas frequências.

O comprimento de onda (λ), não é mais que o “tamanho” da onda, ou seja, a distância entre dois pontos idênticos, consecutivos da onda. O comprimento de onda relaciona a frequência com a velocidade de propagação do som do ar (a 20 °C a velocidade do som é $c \approx 343$ m/s):

$$\lambda = c.T = \frac{c}{f} \quad \text{Equação 2.2}$$

A faixa de frequência da audição humana é tipicamente entre 20 e 20.000 Hz (área de áudio). Cada indivíduo tem uma frequência limite superior, acima da qual não ouve nada. O limite inferior é bastante impreciso pois representa a transição entre aquilo que realmente se escuta e aquilo que se percebe, com todo o corpo. A sensibilidade do ouvido decresce, de forma muito acentuada, à medida que a frequência diminui (a partir de aproximadamente 250 Hz) chegando, finalmente, a frequências para as quais o corpo responde através de impulsos de pressão. O estudo da reacção humana às frequências abaixo dos 20 Hz procura traduzir o efeito das ondas sonoras denominadas infra-sons. A presença dessas frequências é um factor muito importante para o conforto dos passageiros

no interior de alguns veículos. A ultra-sonografia é o nome que representa o estudo de fenómenos cujas frequências são superiores a 20.000 Hz (López, 1999).

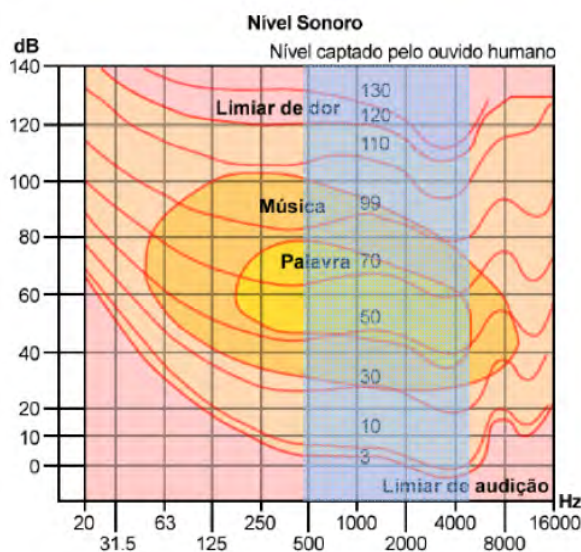


Figura 2.3 – Gamas de frequência (IPB, 2008)

O ouvido humano não se comporta como os microfones, que registam as pressões sonoras com total fidelidade. O ouvido atribui maior ou menor importância ao som, consoante a frequência que é emitida. A variação da sensibilidade depende também da intensidade sonora, surgindo assim as curvas de igual percepção subjectiva da intensidade sonora que são numericamente escalonadas com a unidade denominada **fone** (toma convencionalmente o valor numérico do respectivo nível de pressão sonora nos 1000Hz). Cada linha de curva de n fones representa pontos com igual percepção subjectiva face à intensidade sonora. A representação do gráfico da figura 2.4 indica, a tracejado, a curva do limiar de audição (0 fones). Verifica-se um elevado encurvamento nas baixas frequências que traduz a gradual, mas acentuada, perda de sensibilidade do ouvido humano.

Para exprimir esta particularidade “humana”, e portanto a real e subjectiva sonoridade de um ruído, é necessário corrigir a sensibilidade dos equipamentos de modo a que seja semelhante à do ouvido humano (A. Carvalho, 2004).

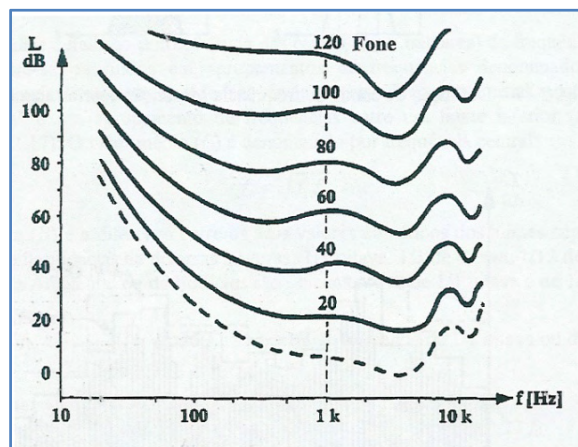


Figura 2.4 – Curvas de igual sensibilidade auditiva (Carvalho, 2004)

Quando se fala em som puro este compreende-se por possuir apenas uma frequência, contudo a maioria dos sons são complexos, compostos por inúmeros sons puros de variadas intensidades e frequências. No estudo da acústica de salas é necessário decompor o ruído em determinados intervalos de frequências. Esses intervalos designam-se por **bandas de frequência** e, para efeitos da análise do ruído, são utilizadas as bandas (filtros) de oitava e 1/3 de oitava. Uma oitava é o intervalo compreendido entre dois sons puros. As frequências estão entre si, duas a duas, na relação de 2/1.

Nos casos em que é necessário fazer uma análise mais rigorosa do ruído no domínio da frequência, deve-se recorrer aos filtros de 1/3 de oitava. Cada banda de oitava contém três bandas de 1/3 de oitava.

A escala logarítmica utilizada para descrever níveis de som é a escala BEL, onde, 1 BEL = Log_{10} (1 divisão de escala) e 1 BEL = $\log_{10} = 10$ dB.

Os ruídos podem ser de variados tipos. Pode então diferenciar-se o **ruído branco**, que mantém a mesma intensidade sonora, ao longo de uma escala frequências linear, ou se for analisado por bandas de frequência tem um acréscimo de 3dB/oitava. Já o **ruído rosa** caracteriza-se por decrescer 3dB/oitava numa escala linear, ou mantém a mesma intensidade, se for analisado numa escala de bandas de frequências (Carvalho, 2004).

Relativamente às propriedades das ondas sonoras e o seu comportamento em diferentes meios, é fundamental reter a **reflexão**, a **transmissão** e a **difracção**. Quando uma onda sonora se propaga através de um espaço e encontra uma superfície que divide um outro espaço, promove-se o aparecimento de uma onda reflectida e uma transmitida. Normalmente uma onda sonora é reflectida sempre que existe uma descontinuidade ou

uma mudança no meio, através do qual a onda se propaga. Um som que se reflecte um decimo de segundos após o som directo não é perceptível pelo ouvido, pelo que os dois sons são confundidos causando o efeito que é conhecido como reverberação. Quando uma onda ultrapassa um obstáculo, também designada por onda transmitida, sofre uma mudança de direcção, em relação às ondas incidentes, fenómeno conhecido como refacção do som (López, 1999).

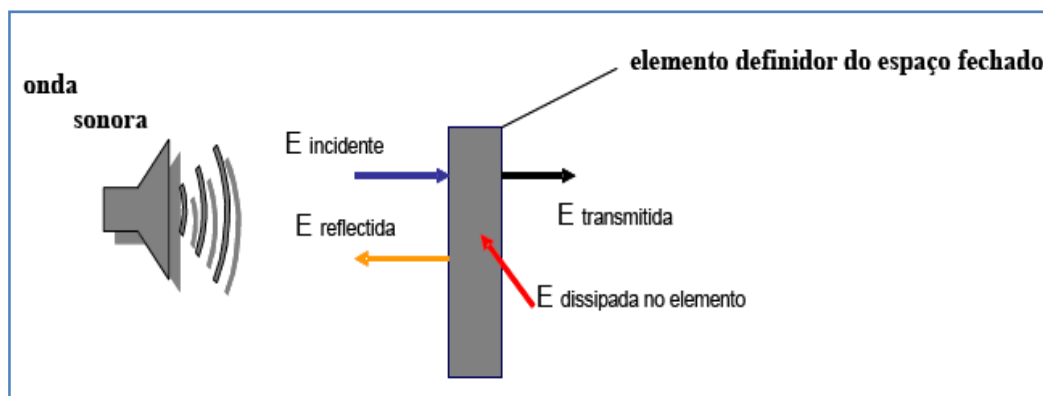


Figura 2.5 – Ondas reflectidas e refractadas (Gonçalves, 2007)

2.4 Acústica em salas fechadas

No tratamento da acústica de salas um elemento condicionante é a sua envolvente, já que as reflexões das ondas sonoras aí reproduzidas tornam-se no componente básico para o comportamento acústico.

As ondas sonoras que se criam num compartimento onde existe uma fonte sonora, como se explicou anteriormente, podem ser de origem directa (campo directo) ou reflectida (campo reverberado). As ondas directas atingem o receptor após um percurso em linha recta, desde a fonte sonora, e os sons reflectidos atingem o ouvinte após reflexões em superfícies existentes na sala. A onda directa (chega primeiro e é mais intensa) é acompanhada de uma sequência de ondas reflectidas, que chegam posteriormente ao ouvido do receptor, dando origem ao campo reverberado. Com este comportamento são geradas variações de pressões, em diferentes pontos de uma sala, já que com as ondas reflectidas verificam-se acréscimos de pressão.

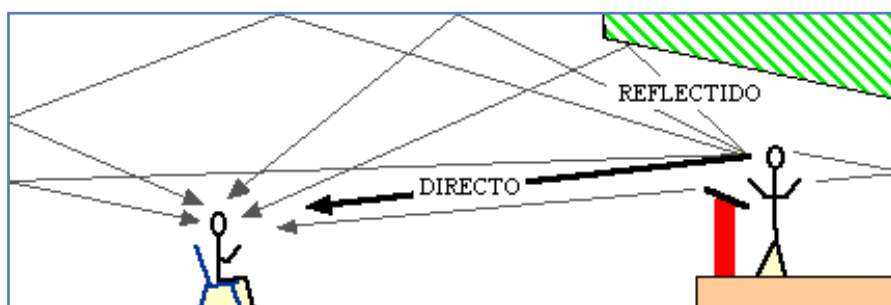


Figura 2.6 – Som directo e reflectido (Denicoló, 2007)

Um facto a considerar é o de que as ondas reflectidas tornam-se cada vez mais fracas, devido à absorção que os materiais possuem aquando do embate com as superfícies existentes. A absorção sonora torna-se num ponto fulcral no campo da análise acústica de salas. A existência de um campo sonoro, num espaço, está sempre associada à dissipação de energia no paramento interno da envolvente e é esta dissipação que evidencia a propriedade chamada de “absorção sonora”.

Quando uma fonte começa a emitir num espaço, o conteúdo energético do campo vai crescendo até que a taxa de dissipação no contorno iguale o débito da fonte. Assim, o nível de pressão sonora num qualquer ponto do espaço integra duas contribuições dependentes das características de emissão da fonte: uma delas está associada ao campo sonoro directo (função da posição do ponto em relação à fonte) e a outra encontra-se ligada ao campo sonoro difuso (função da absorção sonora dos materiais integrados na envolvente) (Silva, 1978). Todos os materiais têm a capacidade de absorver uma maior ou menor quantidade de energia sonora. Todavia, este material é considerado absorvente sonoro quando a sua função fundamental é criar boas condições de conforto acústico, a partir da absorção do som. Existem assim, vários aspectos que determinam o desempenho dos materiais em termos da absorção sonora, tais como a espessura, a massa volúmica, entre outros.

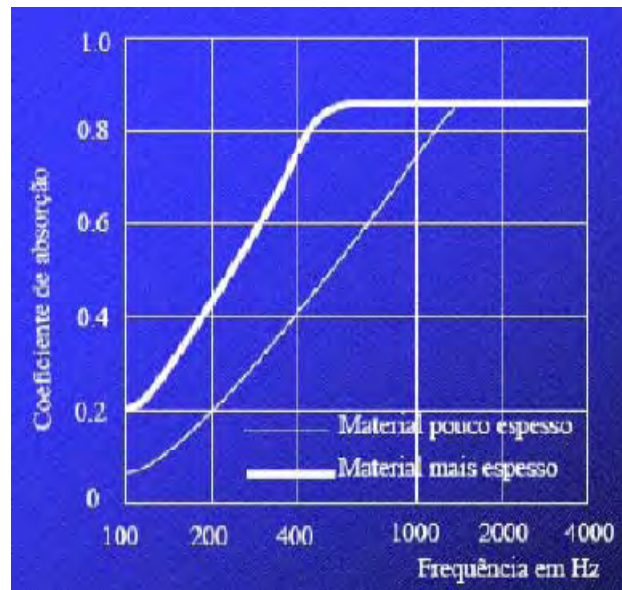


Figura 2.7 – Coeficientes de absorção em função da espessura (IPB, 2008)

Um outro conceito importante no comportamento acústico é o isolamento sonoro. Entende-se por “isolamento sonoro” a protecção de um espaço contra a transmissão de ruídos. As fontes que causam estes sons podem estar originalmente dentro ou fora do edifício. Como tal, distinguem-se os “sons de percussão” em que há uma acção directa de choque sobre os elementos de construção, dos “sons de condução aérea” em que a transmissão é feita pela excitação directa do ar.

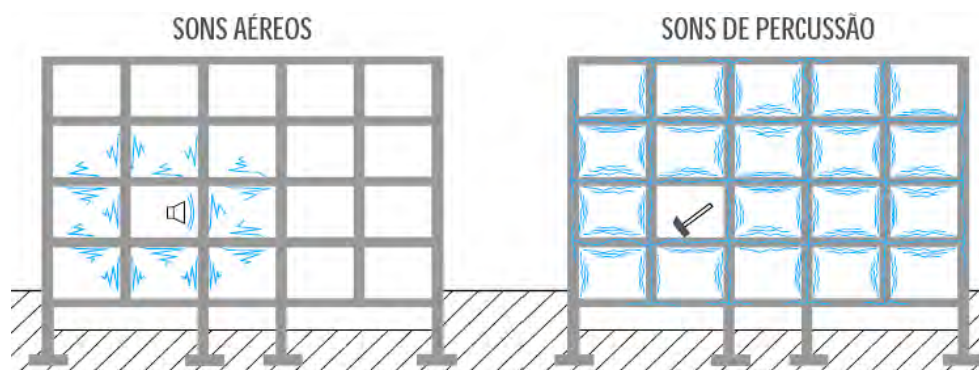


Figura 2.8 – Sons aéreos e de percussão (Gamelas, 2008)

É fundamental procurar formas de proteger os espaços contra a propagação destes sons que contribuem para a diminuição do conforto acústico. Para tal é importante estabelecer a natureza proveniente dos sons e a forma como penetram nos espaços. O isolamento a ruídos aéreos depende da inércia e das características elásticas (rigidez e amortecimento interno) dos elementos definidores da compartimentação considerada, existindo diversas modelações para a sua caracterização. Uma delas é o método ISO/CEN (Patrício, 1999) que possibilita a caracterização do isolamento a sons aéreos, no domínio da frequência. O isolamento a ruídos de percussão não depende da massa do elemento construtivo, visto ser pelos elementos que se estabelecem as propagações do som. Neste caso é importante escolher os revestimentos apropriados para as superfícies ou cortar a continuidade entre os elementos para assim, reduzir a capacidade de propagação do som.

Nos locais de restauração, problemas adjacentes às salas estão associados a vários factores, nomeadamente à proveniência das fontes de emissão do ruído. Grande parte do ruído nestes locais é provocada pelas conversas entre clientes que, devido ao excessivo ruído de fundo, são obrigadas a elevar o tom. Por outro lado, a reverberação sentida aumenta o ruído provocado pelos clientes. Há ainda outra característica que faz a diferença. Actualmente, assiste-se à implementação de um cada vez maior número de cozinhas nas salas de restauração, o que faz com que todos os sons provenientes das áreas de preparação e confecção de alimentos sejam transmitidos para a sala. Factores como a própria construção, nomeadamente através da utilização de equipamentos usados e canalizações pode, de igual modo, contribuir para a criação de ruído nos espaços dedicados à restauração.

Como elemento correctivo poder-se-á indicar a música. Convém, todavia, ter em linhas de conta que a música, quando não utilizada eficazmente, poderá também ela contribuir para o aumento do ruído. Este facto torna-se particularmente verdade se o espaço for muito reverberante, com superfícies reflectoras e tectos elevados. Dependendo do tipo de construção e da localização do edifício, o ruído exterior poderá, igualmente, influenciar o ambiente no interior das salas de refeição (Acoustics.com, 2008).

2.4.1 Características acústicas das salas

Num estudo desta natureza é importante ter em consideração vários factores, nomeadamente, a utilização da sala e as condições físicas e geométricas.

Como foi já mencionado anteriormente a envolvente, a forma e os materiais utilizados num espaço constituem as peças básicas de um “instrumento” acústico fundamental (Carvalho, 2004).

As características do campo sonoro estabelecido no interior de um espaço fechado são condicionadas pela concepção arquitectural (geometria e volume), revestimentos, mobiliário, equipamento e pessoas, no seu interior. Espaços nobres, como salas de conferências, de espectáculos, auditórios, etc., requerem condições especiais visando a adequação das características acústicas à função pretendida. A madeira, material de excelência nos revestimentos, assume papel determinante no desempenho acústico destes locais, podendo ser utilizada para promover a absorção sonora ou as reflexões difusas (dispersão sonora), condicionando desta forma o campo sonoro estabelecido no interior das mesmas. Vários estudos têm incidido sobre a aplicação da madeira na melhoria do comportamento, nomeadamente na aplicação de painéis perfurados em madeira para proporcionar uma boa absorção sonora. Esta avaliação foi realizada em câmara reverberante e as conclusões foram importantes na medida em que contribuíram para reforçar a importância da utilização de materiais porosos em pontos críticos, nomeadamente em caixas-de-ar (Patrício; Patraquim, 2008).

A geometria da sala, a utilização e um bom posicionamento dos diferentes tipos de superfícies permitem equilibrar o campo sonoro num espaço fechado, pois é sabido que as salas de maiores dimensões têm um pior comportamento do que as salas mais pequenas, devido ao facto de, em espaços maiores, o som ter de percorrer uma distância superior. É a relação entre o som directo e o som reverberado, quer em termos de amplitude, quer em termos de atraso temporal, que qualifica acusticamente as salas. Existem alguns parâmetros para quantificar a acústica da sala que serão ainda enunciados neste documento, nomeadamente, o tempo de reverberação, a definição, a clareza, a inteligibilidade (STI), o tempo de decaimento curto (EDT), a resposta impulsiva da sala (modos próprios da sala), entre outros.

2.4.2 Método do ruído interrompido

O método do ruído interrompido é um processo de medição, usado para retirar diversos parâmetros no estudo do comportamento acústico em salas. Para a realização deste tipo de medição recorre-se à emissão de um sinal de ruído de vasto ou curto espectro até que o campo sonoro estabilize; nesta altura a fonte é desligada e são medidos determinados parâmetros para cada frequência. Esta metodologia é muito usada na determinação do tempo de reverberação de salas

2.4.3 Parâmetros acústicos objectivos

Tempo de reverberação (T) corresponde ao intervalo de tempo necessário para se verificar um decrescimento de 60 dB (redução de 1 milhão de vezes da sua intensidade sonora) no nível sonoro, após a paragem da fonte sonora, e foi proposta por W. C. Sabine em 1900.

Como já foi referido, a qualidade acústica de uma sala depende em grande parte do seu tempo de reverberação. Este depende do volume da sala, da frequência do som e do material absorvente. Todos os materiais absorvem energia sonora em maior ou menor quantidade. Importa saber como devem ser escolhidos de modo a dotar um determinado local de uma boa qualidade acústica.

Existem outras fórmulas para o cálculo do tempo de reverberação, é o caso da fórmula de Norris Eyring, adequada para situações em que todas as superfícies envolventes de um espaço têm coeficientes de absorção semelhantes e da fórmula de Millington Sette, sendo que esta se aplica mais em situações em que existam diferenças significativas entre os coeficientes de absorção das diversas superfícies envolvente (Carvalho, 2004).

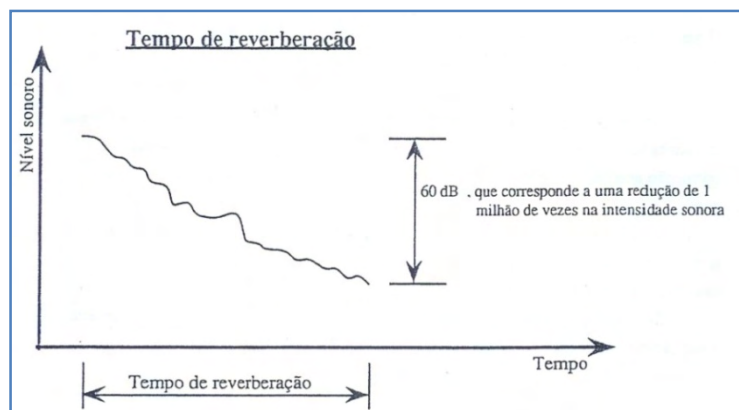


Figura 2.9 – Tempo de Reverberação (Tadeu; Mateus, 2001)

Fórmula de Sabine

$$T = 0.161 \times \frac{V}{A} \quad \text{Equação 2.3}$$

- T é o tempo de reverberação da sala em segundos;
- V é o volume em metros cúbicos;
- A é a área de absorção sonora equivalente.

Este último termo inclui a área de absorção sonora de cada uma das envolventes do compartimento, assim como os diferentes objectos e pessoas que estão no compartimento.

$$A = \sum_{n=1}^t \alpha_{s,n} S_n + \sum_{j=1}^o A_{obj,j} + \sum_{k=1}^p \alpha_{s,k} S_k + A_{ar} \quad \text{Equação 2.4}$$

- $\alpha_{s,n}$ é o coeficiente de absorção sonora equivalente de cada uma das paredes, tectos e pavimentos que formam a sala;
- S_n é a área de cada uma das paredes, tectos e pavimentos que formam o compartimento em m^2 ;
- $A_{obj,j}$ é a área de absorção sonora de um objecto com dimensão irregular em m^2 ;
- $\alpha_{s,k}$ é o coeficiente de absorção sonora equivalente de objectos e pessoas que estão no compartimento;
- S_k é a área sonora equivalente de objectos e pessoas que estão no compartimento em m^2 ;
- A_{ar} é a área sonora equivalente do volume de ar contido no compartimento em m^2 .

A existência de tempos de reverberação adequados para diferentes salas e de utilizações distintas, usadas no ensino, torna-se numa ferramenta óptima para comparação com valores calculados (Figura 2.10).

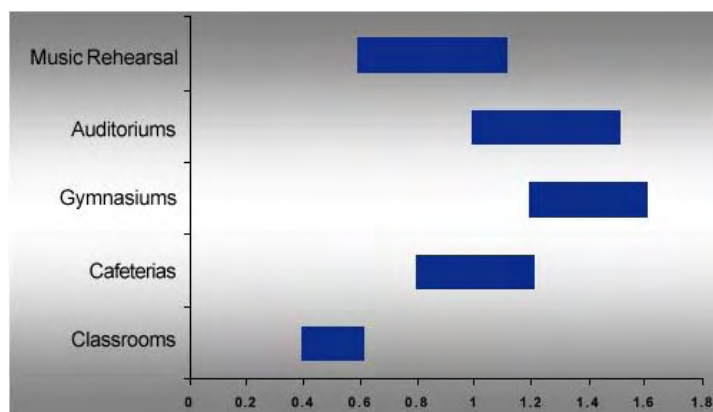


Figura 2.10 - Tempos de reverberação adequados para salas típicas usadas no ensino (Acoustical Society of America, 2000)

Na Figura 2.10, é possível antever intervalos de tempos de reverberação ideais para diferentes salas usados no ensino. Como se pode observar, para refeitórios, o intervalo de referência para o tempo de reverberação adequado, deve variar entre 0,8 s e 1,2 s.

Tempo de decaimento curto (EDT) é o tempo necessário para se dar um decaimento de 10 dB, é uma adaptação do tempo de reverberação e multiplicado por um factor de 6. Foi proposto por Jordan, baseado na investigação feita por Atal em 1965 (Carvalho, 2004).

Definição (D_{50}) não é mais que a razão entre a energia recebida nos primeiros 50ms (limite de perceptibilidade com respeito à palavra) e a energia total recebida. Foi proposto por Theile em 1953 (Carvalho, 2004).

Clareza (C_{80}) é semelhante ao parâmetro anterior diferindo na diferença de energia nos primeiros 80ms (proposto como limite de perceptibilidade para a musica) e posteriormente. Esta foi proposta por Richardt em 1975 (Carvalho, 2004).

Rácios de baixos (Br) são utilizados para avaliar a comparação de tempos de reverberação e para intensidades sonoras para as baixas frequências com as altas frequências. Foram propostos por Beranek em 1962 e por Gade em 1989 (Carvalho, 2004).

RASTI (Rapid Speech Transmission Index) é um parâmetro útil para avaliar a inteligibilidade da palavra, está associada à percepção da fala, muito utilizada nos estudos de igrejas (Carvalho, 2004).

2.4.4 Parâmetros acústicos subjectivos

Os seguintes parâmetros referem-se a análises subjectivas que dependem de uma opinião dos auditores, e estão muito relacionados com salas de espectáculos:

- **Vivacidade:** Salas reverberantes são ditas salas "vivas", enquanto que salas com elevado índice de absorção e que reflectem pouco som para o ouvinte são designadas de salas "mortas/secas". Esta é uma qualidade relacionada directamente com o tempo de reverberação da sala (Figueiredo et al, 2004).
- **Calor:** Calor em acústica é definido como a presença dos graves. Ocorre quando o tempo de reverberação das baixas frequências (menores que 250 HZ) é suficientemente grande para garantir que tais frequências sejam claramente percebidas (Figueiredo et al, 2004).
- **Brilho:** O som brilhante de uma sala deriva da proeminência dos harmónicos superiores e do relativo baixo decaimento para essas frequências (Figueiredo et al, 2004).
- **Nível de som directo e reverberante:** Impressão derivada da relação entre as contribuições da energia do som directo e do som reverberante, importante para a noção de intensidade e difusão sonora (Figueiredo et al, 2004).
- **Intimidade:** Impressão determinada pelo intervalo de tempo entre o som, que chega directamente, e sua primeira reflexão proveniente das superfícies reflectoras (Figueiredo et al, 2004).
- **Clareza ou Definição:** Quando a música tocada numa sala soa bem definida, com articulações sonoras límpidas e precisas, diz-se que a sala apresenta bom grau de clareza (Figueiredo et al, 2004).
- **Impressão Espacial:** É o efeito psico-acústico, as reflexões que atingem o ouvinte fazem-no criar uma sensação acústica espacial do ambiente (Figueiredo et al, 2004).

2.5 Regulamentação aplicável

As exigências relativas às condições acústicas nos edifícios encontram-se definidas no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-lei nº 129/2002 de 11 de Maio, que regula a vertente do conforto acústico em edifícios. O diploma sofreu algumas alterações recentemente, definidas no Decreto-lei nº 96/2008 de 9 de Junho, que estabelece o seguinte:

- Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
- Edifícios escolares e similares, e de investigação;
- Edifícios hospitalares e similares;
- Recintos desportivos;
- Estações de transporte de passageiros;
- Auditórios e salas.

Para o estudo de locais de restauração, nomeadamente de refeitórios escolares, os requisitos a cumprir estão indicados no artigo 7º, edifícios escolares e similares, e de investigação.

Os edifícios escolares e similares, e de investigação, estão sujeitos a cumprir determinados requisitos acústicos.

Estes requisitos, abrangem valores limites para determinadas zonas, relativamente, aos índices de isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão, bem como, ao tempo de reverberação, que nos diz que, no interior dos locais indicados, considerados mobilados e sem ocupação o tempo de reverberação T , corresponde à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz, deverá satisfazer as condições indicadas no quadro III, em anexo, do presente Decreto-Lei (Figura 2.11).

Locais	Tempo de reverberação (500 Hz — 2 kHz)
Salas de aula bibliotecas, salas polivalentes e refeitórios.	$T \leq 0,15 V^{1/3}$ [s] (V. artigo 9.º)
Ginásios.	

V = volume interior do recinto em causa.

Figura 2.11 – Quadro III do Anexo do Decreto-lei nº 96/2009

3. Metodologia aplicada

3.1 Selecção dos refeitórios

Na selecção dos refeitórios em estudo tiveram-se em consideração vários critérios, nomeadamente, o ano de construção, e consequentemente a diferença entre a construção recente e antiga, a metodologia de construção, bem como os materiais utilizados nos diferentes espaços. Um critério fundamental neste estudo prendeu-se com a escolha das salas mais representativas da massa ocupacional de utilizadores dos espaços alimentares.

Como tal, procedeu-se à selecção do Refeitório de Santiago, situado no edifício 6 – Zona Técnica Central e Serviços de Acção Social e do Refeitório do Crasto, localizado no edifício M – Complexo de Refeitórios do Crasto (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Localização dos Refeitórios (www.ua.pt/)

3.2 Recolha de Dados

Para um conhecimento mais aprofundado das salas, recorreu-se à pesquisa de documentos de apoio nos arquivos dos Serviços Técnicos da Universidade de Aveiro. Neste exercício de pesquisa foram consultados os projectos dos edifícios em que se inserem as salas. Este estudo revelou-se fundamental para uma recolha de pormenores construtivos e materiais utilizados, bem como para o conhecimento geométrico dos espaços (Tabela 3.1).

Após consulta dos projectos, foram efectuadas várias visitas aos refeitórios com o intuito de recolher dados adicionais, tendo-se efectuado o levantamento dos equipamentos e do mobiliário existente. Obteve-se, assim, informação sobre as salas mais utilizadas e a sua capacidade, factor determinante para escolher as salas objecto de estudo. Como complemento aos trabalhos de pesquisa, foi ainda efectuado um registo fotográfico de todos os espaços.

Tabela 3.1 – Volumes e áreas das salas

Salas	Área (m ²)	Pé Direito (m)	Volume (m ³)
Refeitório do Crasto	640,95	3	1922,85
Refeitório de Santiago	410,00	3,5	1435,00
Restaurante do Crasto	184,60	3	553,80

3.3 Descrição dos refeitórios

3.3.1 Refeitório do Crasto

Situado no Complexo de Refeitórios do Crasto (edifício M) - Agra do Crasto - da autoria dos arquitectos Manuel Aires Mateus e Francisco Aires Mateus, este espaço foi inaugurado em 2002.

Do ponto de vista construtivo utilizou-se um sistema misto de paredes estruturais, lajes de betão armado e pilares e vigas metálicas. O edifício possui ainda fachadas menores com enormes envidraçados suportados por estruturas metálicas e fachadas longitudinais com paramentos de tijolo vermelho face à vista. O edifício (Figura 3.2) subdivide-se em grupos funcionais: complexo de refeitórios e apoios, nomeadamente, cafetaria e restaurante.



Figura 3.2 – Edifício do Complexo de Refeitórios do Crasto

O Refeitório situa-se no piso dois do Complexo e é constituído por duas salas. A sala (Figura 3.3) escolhida para o estudo foi a que demonstrou maior capacidade, com cerca de 340 lugares. Apresenta uma área global de 640 m^2 e um pé direito a variar entre os 3 metros, na zona central, e os 4,5 em zonas de passagem lateral. O valor do volume total é de $1922,85 \text{ m}^3$.



Figura 3.3 – Vista geral do interior da sala do refeitório do Crasto

O refeitório é constituído por um pavimento autonivelante de base epoxi, tipo “SIKAFLOOR 93”, com acabamento totalmente liso (Figura 3.4), e duas saídas de emergência, protegidas por guardas em perfis de aço e malha de aço electrosoldada (Figura 3.5).

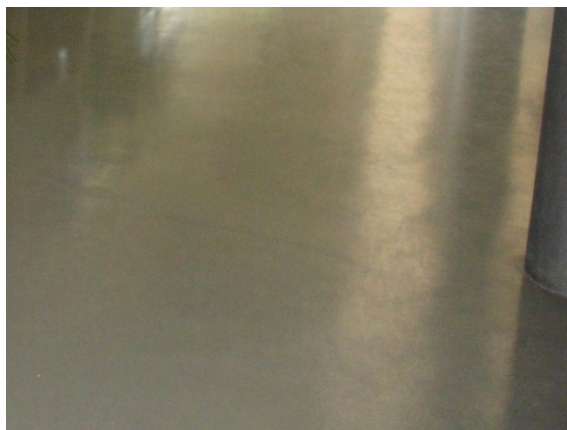


Figura 3.4 – Pormenor do pavimento autonivelante epoxi



Figura 3.5 – Pormenor da saída de emergência e das guardas ao vão aberto

As quatro paredes têm constituições diferentes: a parede divisória da cozinha é formada por painéis de aparas de madeira aglutinadas com cimento com 25mm de espessura (Figura 3.6), uma porta metálica para-chamas, de rebater, que permite aceder à cozinha, e ainda por dois vãos abertos de acesso aos corredores. Já as paredes laterais formam-se de betão à vista envernizado e janelas constituídas por uma folha exterior de 8,4mm, caixa-de-ar de 12 mm e uma folha interior de 8,4 mm, com caixilharia em alumínio (figura 3.7). No espaço existe ainda uma parede envidraçada, com grelhagem efectuada com chapa de aço e constituição de vidro similar à das janelas (figura 3.8).

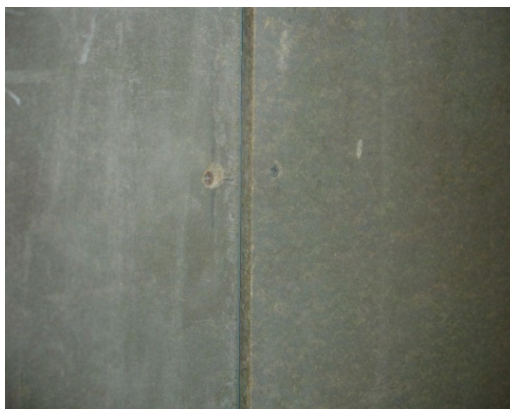


Figura 3.6 – Pormenor da parede divisória da cozinha



Figura 3.7 – Pormenor da parede lateral composta por betão à vista e por janelas de grandes dimensões



Figura 3.8 – Pormenor da parede envidraçada

O tecto, que possui também, na parte superior, condutas de ventilação e de ar condicionado, é constituído por um tecto falso em placas de gesso pré-fabricadas do tipo “Placoplatre”, na zona central da sala. Na zona de passagem dos corredores laterais, o tecto é de betão armado à vista (Figura 3.9).



Figura 3.9 – Pormenor do tecto constituído por tecto falso e betão à vista

O espaço contempla, igualmente, pilares de aço de diâmetro igual a 30 cm, bem como pilares de perfis metálicos HEB300. Neste espaço privilegiou-se o equipamento em inox (Figura 3.10), representando cerca de 16% da área global da sala. O mobiliário de sala (mesas e cadeiras) é, na sua essência, constituído a partir de material plástico, sendo a sua área de ocupação de 30% do total da sala. (Figura 3.11).



Figura 3.10 – Pormenor do equipamento em inox



Figura 3.11 – Pormenor da mobília de plástico (mesas e cadeiras)

3.3.2 Refeitório de Santiago

O Refeitório de Santiago encontra-se situado no edifício da Zona Técnica Central e Serviços de Acção Social (Edifício 6). A infra-estrutura, projectada em 1987 por Rebelo de Andrade & Espírito Santo, arquitectos associados, é constituída por uma cave e dois pisos (Figura 3.12).

Do ponto de vista estrutural salienta-se a utilização de sistema de pilares e vigas em betão armado, suportando lajes aligeiradas; os paramentos são efectuados em alvenaria de tijolo, revestido a pedra calcária, alternando com vãos integrais, constituindo um sistema de fachada modular. O primeiro piso foi executado em massame de betão simples, sendo o segundo constituído por lajes fungiformes nervuradas de betão armado, realizadas com moldes plásticos recuperáveis, tipo “Ferca”.



Figura 3.12 – Edifício da Zona Técnica Central e Serviços de Acção Social

O Refeitório situa-se no piso dois do Edifício Sede dos Serviços de Acção Social e é constituído por duas salas. A sala escolhida para o estudo foi a sala com maior capacidade de lugares (Figura 3.13). Possui uma área total de 410m^2 , e é formada essencialmente por superfícies lisas de fácil limpeza, bem características dos refeitórios.



Figura 3.13 - Vista geral do interior da sala do Refeitório de Santiago

O tecto tem uma constituição alveolar em betão à vista afagado (Figura 3.14) e possui apenas uma pequena área constituída por um tecto falso em ripas de madeira (Figura 3.15). O pavimento, é totalmente revestido a ladrilho cerâmico (Figura 3.15).



Figura 3.14 – Pormenor do tecto alveolar em betão à vista



Figura 3.15 – Pormenor do tecto constituído por em ripas de madeira, e do pavimento revestido a ladrilho cerâmico

As paredes são em alvenaria de tijolo, rebocadas com argamassa de cimento e pintadas com tinta plástica. Uma divisória é totalmente, constituída por envidraçado com caixilharia em madeira (Figura 3.16). As janelas existentes são de grandes dimensões, vidro simples com caixilharia em alumínio, e representam grande parte da área das paredes (Figura 3.17).



Figura 3.16 – Pormenor da divisória constituído por envidraçado



Figura 3.17 – Pormenor das janelas de grandes dimensões

O equipamento do Refeitório é maioritariamente constituído por inox e vidro, armários, expositores refrigerados e bancadas, o que constitui cerca de 10% da área total da sala (Figura 3.18). Mesas e cadeiras de dimensões correntes, em madeira, integram a componente de mobiliário e ocupam grande parte da área da sala, cerca de 50% do valor total (Figura 3.19).



Figura 3.18 – Pormenor do equipamento em inox

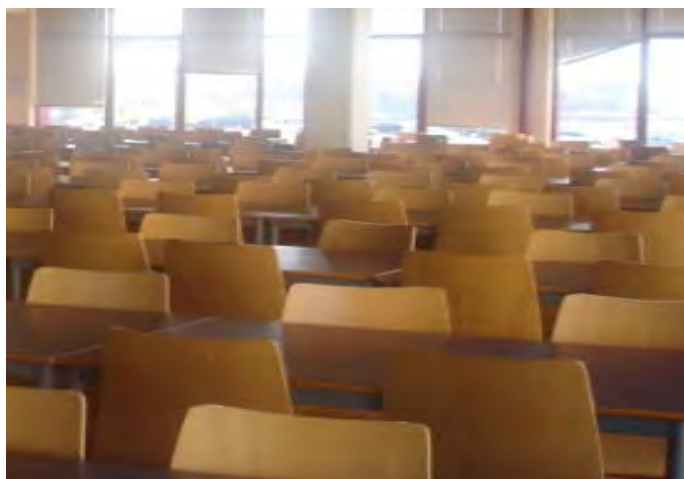


Figura 3.19 – Pormenor do mobiliário de madeira (mesas e cadeiras)

3.3.3 Restaurante do Complexo do Crasto

O restaurante do Castro (Figura 3.20) situa-se no piso um do Complexo com o mesmo nome e encontra-se posicionado abaixo da sala do refeitório analisado. Por essa razão, entendeu-se incluir esta sala nos estudos efectuados. A sala tem capacidade para 68 lugares e possui uma área de 205,9 m², em que se insere um espaço fechado no interior, com funcionamento de bar.



Figura 3.20 – Vista geral do restaurante do Crasto

A sala é constituída por um pavimento em pedra de vidro de 20mm (Figura 3.21). Um tecto falso, em placas de gesso pré-fabricadas do tipo “Placoplatre”, compõe o tecto. Relativamente às paredes, estas são constituídas por uma parede divisória de betão à vista (Figura 2.22) e as fachadas formadas por envidraçados (Figura 3.23).

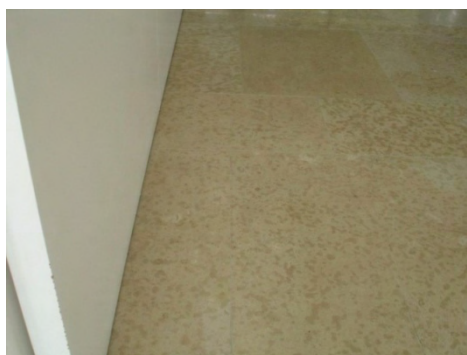


Figura 3.21 – Pormenor do pavimento em pedra de vidro



Figura 3.22 – Pormenor da parede divisória de betão à vista

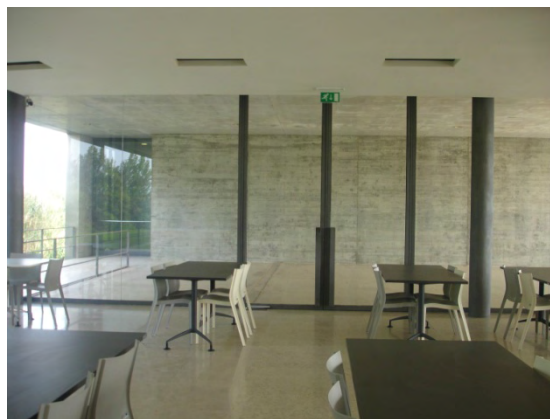


Figura 3.23 – Pormenor da fachada envidraçada

O lambril existente no restaurante é constituído por um contraplacado MDF em faixa com espessura de 5mm e pintura a tinta de esmalte sintético, ocupando 10% da área total da sala (figura 3.24). O mobiliário disponível é, em tudo, semelhante ao que se encontra no Refeitório do Crasto e constitui uma ocupação de 35% da área global.



Figura 3.24 – Pormenor do lambril em contraplacado MDF em faia

3.4 Parâmetros Acústicos a Analisar

Os parâmetros acústicos a analisar neste estudo, foram obtidos a partir de um cálculo teórico, bem como por medições *in situ*.

No estudo da acústica de edifícios podem referir-se dois campos distintos de análise: a correcção acústica e o isolamento sonoro. No primeiro caso, o parâmetro objectivo em análise é o tempo de reverberação, Tr . No segundo, a medição do isolamento sonoro a ruídos aéreos entre salas e o isolamento sonoro a ruídos de percussão, foram os itens analisados. Neste trabalho foi, de igual modo objecto de medição, o nível de pressão sonora contínuo.

3.5 Equipamento Utilizado

Na execução das medições foi usado equipamento cedido pela empresa “Certifer, Lda”, encontrando-se apresentada na tabela seguinte (Tabela 3.2), a descrição de todo o material utilizado.

Tabela 3.2- Equipamento utilizado nas medições *in situ*

DESIGNAÇÃO/MODELO	REFERENCIA
Sonómetro do tipo 1, da CESVA. Modelo Sc-310 e acessórios	T226297
Calibrador, da CESVA. Modelo CB5	44680
Fonte de pressão sonora CESVA. Modelo FP120	T222120
Coluna omnidireccional CESVA. Modelo BP012 “dodecaedro”	BP 012-T222133
Maquina de impactos (martelos), modelo M005	
Cabo de extensão CN-010 da CESVA	-
Tripé	-
Fita Métrica 13 metros. Modelo RST-TC04	-
Medidor de velocidade do ar, modelo TSI 8347, (Humidade relativa e temperatura)	-
Computador portátil Acer TravelMate 4000	-
Software Capture studio, CESVA	SFT030

3.6 Determinação dos parâmetros acústicos

Com o levantamento de toda a informação essencial para o conhecimento dos espaços a estudar, foram iniciados os trabalhos, segmentados em várias etapas.

A primeira consistiu na determinação de tempos de reverberação, partindo de uma fórmula de previsão matemática. Para tal efectuou-se o levantamento dos coeficientes de absorção dos materiais e sistemas aplicados na construção dos referidos edifícios, em que se inserem os refeitórios, e aplicou-se a fórmula de Sabine para a obtenção de resultados. Neste trabalho foram também realizadas medições *in situ*,

A avaliação da propagação do ruído emitido foi realizada através da medição do nível de pressão sonora contínuo equivalente com a curva A, L_{Aeq} . Pretendeu-se, com este parâmetro, caracterizar numericamente a evolução, ao longo da abertura ao público, da propagação de um qualquer ruído elevado produzido. O L_{eq} é um parâmetro descritor energético que se define como o nível que, se actuasse de modo constante num dado intervalo de tempo, “produziria” a mesma energia que o som que se pretende avaliar. Este

parâmetro permite avaliar, segundo um único valor (médio), o acontecimento acústico, num dado intervalo de tempo. A curva, A, representa um conjunto de correcções algébricas efectuadas aos níveis de pressão sonora em função das frequências do som captado. Os filtros electrónicos estão introduzidos nos aparelhos de medida para corrigir os valores rasteados, para que a sensibilidade dos equipamentos seja aproximadamente semelhante à do ouvido humano. (Anabela Carvalho, 2005)

Num segundo momento de medições, e para analisar o tempo de reverberação dos espaços, utilizou-se a técnica do ruído interrompido. Tal como descrito no Capítulo 2, e por definição, o tempo de reverberação é o tempo em que o nível de pressão sonora demora a decair 60 dB, desde que a fonte sonora pára de emitir. Assim, e devido à presença de “ruído de fundo”, medir um decaimento de 60 dB revela algumas dificuldades. Nestes casos, recorre-se à medição de um decaimento de 20 dB ou 30 dB (TR 20 e TR30), extrapolando depois para os 60 dB. As medições, dos tempos de reverberação foram efectuadas para um filtro de frequências entre 125 Hz a 4000 Hz.

As restantes medições efectuadas incidiram sobre a avaliação do isolamento sonoro. Para tal, calculou-se o isolamento sonoro a ruídos de percussão e a ruídos de condução aérea, entre salas, usando, para isso, uma fonte de emissão sonora num local de emissão e colocando o sonómetro num local de recepção, avaliando assim o comportamento do elemento construtivo de separação das duas salas.

No presente estudo foi, igualmente, medido o isolamento sonoro a sons de fachadas, o que permitiu avaliar a redução sonora da fachada. As medições efectuaram-se através da emissão de um ruído branco de elevada intensidade, determinando-se assim para os locais de emissão e recepção, os níveis médios de pressão sonora.

Para o final dos trabalhos recorreu-se a opiniões subjectivas sobre o ambiente acústico encontrado nos espaços alimentares descritos, através da aplicação de um inquérito, alojado na Web e acessível a comunidade da Universidade de Aveiro.

Todos os resultados das medições foram devidamente tratados, numa fase posterior à realização dos trabalhos práticos, analisando-se os resultados obtidos com o intuito de apresentar soluções construtivas correctivas.

3.6.1 Cálculo do tempo de reverberação. Aplicação teórica.

O cálculo dos tempos reverberação pode ser obtido através de fórmulas de previsão. Neste estudo recorreu-se à equação de Sabine, descrita no Capítulo 2. Para a aplicação da equação de Sabine, é necessário ter em consideração o volume da sala, os materiais de revestimento dos diversos elementos, o mobiliário e o equipamento dos espaços, com os seus respectivos coeficientes de absorção sonora.

Procedimentos

Com o levantamento arquitectónico previamente feito, obtiveram-se todas as informações para caracterizar as salas. A recolha de dados tornou-se imprescindível nesta etapa de trabalhos, uma vez que era necessário conhecer, para além das áreas, o tipo de acabamentos dos espaços, bem como os seus equipamentos e o mobiliário de cada um. De seguida é apresentado um quadro com a composição dos elementos das respectivas salas em estudo (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Mapa de acabamentos das salas em estudo

Sala em estudo	Pavimento	Tecto	Paredes	Mobília (Mesas e cadeiras)	Equipamento
Refeitório do complexo do Crasto	Autonivelante epoxi	Tecto Falso em Gesso	Betão à vista	Plástico	Inox
		Betão á vista	Envidraçado		
			Ripas de madeira		
Refeitório de Santiago	Ladrilho cerâmico	Betão alveolado pintado	Reboco pintado	Madeira	Inox
			Envidraçado		
Restaurante do complexo do Crasto	Pedra vidro	Tecto Falso em Gesso	Betão à vista	Plástico	Existência de um Lambril em MDF
			Envidraçado		

Num momento seguinte, efectuou-se o levantamento das áreas dos elementos que constituem as salas; este levantamento incidiu na consulta às plantas e alçados em projecto, bem como nas visitas efectuadas aos locais. Apresentam-se, então, de seguida, (Tabela 3.4 a 3.11), as áreas de todos os elementos e os coeficientes de absorção sonora.

Refeitório do Crasto

Tabela 3.4 – Áreas dos elementos constituintes da sala do Refeitório do Crasto

Elemento	Designação	uni.	Dimensões			
			Comp.	Larg./Esp	Alt.	Área (m ²)
Tecto	Tecto falso	1	31,73	16,6	-	494,078
	Tecto em betão armado	2	31,73	3,6	-	114,228
	Painéis em rede metálica	12	6,8	0,4	-	32,64
Pavimento	Autonivelante Epoxi	1	31,73	20,2	-	680,16
	Escadas (vão aberto)	2	5,3	1,2	-	12,72
Fachada 1	Parede Betão		14,9	0,2	3,5	88,06
	Envidraçado	1	17,1	0,05	1,4	23,94
Fachada 2	Envidraçado	1	20,2	0,05	3	60,6
Fachada 3	Parede Betão	1	6,3	0,2	3	76,398
	Envidraçado		25,43	0,05	1,4	35,602
Fachada 4	Placas de madeira	1	16,05	0,2	3	44,37
	Porta	1	1,8	-	2,1	3,78
	Vãos abertos	2	2,05	-	3,5	14,35
Pilares	Perfil H (metálico)	3			3	10,80
	Perfil H com cobertura	2	0,3	0,3	-	7,20
	Cilíndrico (metálicos)	12	0,3		3	33,93

Tabela 3.5 – Equipamento existente no Refeitório do Crasto

EQUIPAMENTO						
Elemento	Designação	uni.	Dimensões			
			Comp.	Larg.	Alt.	Área (m²)
Módulos refrigerados c/ expositor e deslizador frontal pequeno	Inox	2	1,5	0,88	0,8	7,616
	Vidro	2	1,5	0,88	0,8	10,256
Módulos refrigerados c/ expositor e deslizador frontal grande	Inox	3	2,15	0,88	0,8	14,544
	Vidro	1	2,15	0,88	0,8	6,74
Expositor vertical para bebidas	Inox	3	0,72	0,78	1,8	13,9968
	Vidro duplo	3	0,72	0,78	1,8	3,888
Módula self de distribuição Dimensões: 150x70x85 cm	Inox	1	6	0,88	0,8	11,008
	Vidro	1	4	0,88	0,5	8,4
Módulos de saída/caixa	Inox	2	-	-	-	2,2164
Guardas Verticais	Guardas do equipamento	2	5,18	0,08	2,1	21,756
		2	5,6	0,08	2,1	23,52
		1	2,36	0,08	2,1	4,956
	Guardas das escadas	4	5,3	0,08	2,1	44,52
		2	1,2	0,08	2,1	5,04
Grelhas ventilação	Metálicas	16	0,9	0,9	-	12,96

Tabela 3.6 – Coeficientes de absorção sonoro do material existente no Refeitório do Crasto

ELEMENTO	Área (m2)	Coeficientes de absorção (α)					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Pavimento	576,3	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Tecto falso	494,1	0,15	0,11	0,04	0,04	0,07	0,08
Envidraçado	120,1	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02
Betão	278,7	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
Parede viroc	44,4	0,05	0,09	0,23	0,66	0,79	0,76
Porta	3,8	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Vão abertos	27,1	0,80	0,80	0,80	0,80	0,90	1,00
Módulos Inox	49,4	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01
Módulos Vidro	25,4	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Guardas	99,8	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01
Cadeiras vazias (unidades)	342,0	0,06	0,10	0,10	0,20	0,30	0,20
Cadeiras estofadas vazias	2,0	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
Mesas	58,0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05
Grelhas de Ventilação	13,0	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

Refeitório de Santiago

Tabela 3.7 – Áreas dos elementos constituintes da sala do Refeitório de Santiago

Elemento	Designação	uni.	Dimensões			
			Comp.	Larg./Esp	Alt.	Área (m²)
Tecto	Betão	1			-	312,20
	Ripas de madeira	1	7	1,9	-	19,4
Pavimento	Betão armado revestido com ladrilho cerâmico	1	-	-	-	331,60
Pilares	Rectangulares betões	8	0,4	0,4	3,5	78,40
Fachada 1	Janelas	16,8	16,8	-	2,5	42
	Alvenaria tijolo rebocada e pintada	19,31		-		20,56
Fachada 2	Janelas	16,8	16,8	-	2,5	42
	Alvenaria tijolo rebocada e pintada	19,31	8	-		20,56
Fachada 3	Envidraçado	1	20,2	-	3,5	70,7
Fachada 4	Parede de alvenaria	1	15,6	-	1,8	36,3
	Envidraçado	1	4,1	-	3,5	14,35
	Portas madeira	1	1,2	-	1,8	2,16
	Porta vidro	1	1	-	3,5	3,50
	Portas inox	2	1,2	-	2	4,8
	Vãos abertos	1	6,7	-	0,7	4,69

Tabela 3.8 – Equipamento existente no Refeitório de Santiago

EQUIPAMENTO						
Elemento	designação	uni.	Dimensões			
			Comp.	Larg.	Alt.	Area (m²)
Módulos refrigerados	Inox	2	1	0,7	0,5	5,3
Módulos tabuleiros	Inox	2	0,75	0,8	1,5	2,8
Mesas inox	Inox	2	1,1	0,7	0,8	1,6
Expositor vertical para bebidas	Inox	1	0,72	0,8	1,8	4,7
	Vidro duplo	1	0,72	0,8	1,8	1,3
Módula self de distribuição	Inox	1	6,1	0,7	0,8	12,1
	Vidro	1	4	0,7	0,5	5,3
Módulos para saladas	Inox	1	1,4	0,5	0,8	3,8
Lavatório	Inox	1	0,4	0,3	0,8	1,0
Grelhas de ventilação	Inox	15	0,8	0,8	-	9,6

Tabela 3.9 – Coeficientes de absorção sonora do material existente no Refeitório do Santiago

ELEMENTO	Área (m ²)	Coeficientes de absorção (α)					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Pavimento	408,7		0,01	0,02	0,03	0,04	
Tecto em Betão	426,3	0,11	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05
Tecto em Madeira	19,4	0,18	0,14	0,1	0,08	0,07	0,06
Parede de de alvenaria	77,4		0,01	0,02	0,02	0,02	
Pilares em betão	78,4	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Janelas	84,0	0,30	0,20	0,10	0,07	0,05	0,02
Parede envidraçada	88,6	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Portas inox	4,8	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Porta madeira	2,2	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1
Vão abertos	4,7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,90	1,00
Cadeiras vazias	358,0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05
Cadeira estofada	1,0	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
Mesas	87,0	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Equipamento (Inox)	31,2	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01
Equipamento (vidro)	5,3	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Equipamento (vidro duplo)	1,3	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02
Grelhas de ventilação	9,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Restaurante do Complexo do Crasto

Tabela 3.10 – Áreas dos elementos constituintes da sala do Restaurante do Crasto

Elemento	Designação	uni.	Área (m2)
Tecto	Tecto falso em gesso	1	183,9
Pavimento	Pedra vidro	1	183,9
Fachada 1	Envidraçada	1	38,85
Fachada 2	Envidraçada	1	47,7
Fachada 3	Envidraçada	1	38,85
Fachada 4	Betão armado	1	40,7
Pilares	Cilíndricos metálicos	10	28,27

Tabela 3.11 – Coeficientes de absorção sonora do material existente no Restaurante do Crasto

ELEMENTO	Área (m ²)	Coeficientes de absorção (α)					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Pavimento	183,90		0,01	0,02	0,03	0,04	
Tecto	183,90	0,15	0,11	0,04	0,04	0,07	0,08
Envidraçado	150,51	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Parede	40,70	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
Divisória do Balcão	68,28	0,15	0,11	0,04	0,04	0,07	0,08
Porta em vidro	7,50	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
Porta Aberta	2,80	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1
Cadeiras vazias	68,00	0,06	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2
Mesas	25,11	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05

3.6.2 Cálculo do tempo de reverberação. Medições *in situ*.

Para a medição do tempo de reverberação, através da técnica do ruído interrompido, foi seguido o processo especificado na norma ISO 3382:2000, que estabelece os métodos para a medição dos tempos de reverberação em salas comuns.

Procedimentos

Nas medições *in situ*, é necessário gerar sinais acústicos de prova, neste caso ruído rosa. Neste estudo utilizou-se, então, uma fonte sonora que permitisse reproduzir estes sinais, alcançando os níveis de pressão sonora capazes de excitar a sala. A fonte de pressão sonora usada consistiu num conjunto que se caracteriza por conter um gerador de ruído e um altifalante dodecaedro de radiação omnidireccional (Figura 3.25). Para a avaliação do ruído emitido utilizou-se um sonómetro analisador de classe 1 da Cesva (Figura 3.26) (<http://www.cesva.com>).

Figura 3.25- Fonte de pressão sonora (<http://www.cesva.com>)



Figura 3.26 – Sonómetro (<http://www.cesva.com>)

As medições foram efectuadas nas condições de sala sem actividade, considerando-se todo o seu mobiliário nas condições e posições habituais de utilização. Existiu a preocupação de encerrar todas as janelas e portas, bem como de desligar todos os equipamentos, com o fim de reduzir, ao máximo, o nível de ruído de fundo. Contudo, e no caso específico do Refeitório de Santiago, não foi possível parar totalmente todo o equipamento da cozinha, devido aos trabalhos contínuos que são gerados neste espaço durante todo o dia, o que dificultou, de certo modo, as medições.

Para a realização deste tipo de medição recorre-se à emissão de um sinal de ruído de vasto ou curto espectro até que o campo sonoro estabilize, procedendo-se ao desligamento da fonte quando se garante que, para todos os parâmetros, a pressão sonora captada ultrapassa os 45dB. Nesta altura desliga-se a fonte e registam-se, com o sonómetro, os valores do decaimento correspondentes a 20dB (TR20) e 30 dB (TR30), nas frequências entre os 125 Hz e 4000 Hz, por bandas de oitava.

O processo descrito foi efectuado colocando a fonte de emissão sonora em diferentes locais da sala. Para cada posição da fonte foram efectuadas quatro medições com o sonómetro diferentemente posicionado.

No Refeitório do Crasto foram efectuadas medições para quatro posicionamentos diferentes da fonte sonora. Contudo, no Refeitório de Santiago apenas se efectuaram medições para três posições, devido aos problemas de ruídos de fundo que não se conseguiram dissipar totalmente. No restaurante do Crasto, como se trata de um espaço consideravelmente mais pequeno e de tempo de reverberação estável e uniforme, apenas foram usadas duas posições diferentes.

Em todos os momentos de medição diários, procedeu-se à verificação do sonómetro, tanto no início como no final dos trabalhos usando-se, para tal, um calibrador

sonoro (Figura 3.27). O instrumento foi verificado impondo um sinal de 94dB na frequência dos 1000Hz, garantindo que a margem de erro não fosse superior a 0,5 dB.



Figura 3.27 – Calibrador sonoro (<http://www.cesva.com>)

De seguida, são apresentadas as plantas das salas com os diferentes posicionamentos das fontes de emissão sonora e dos sonómetros (Figura 3.28 a 2.30).

Refeitório do Crasto

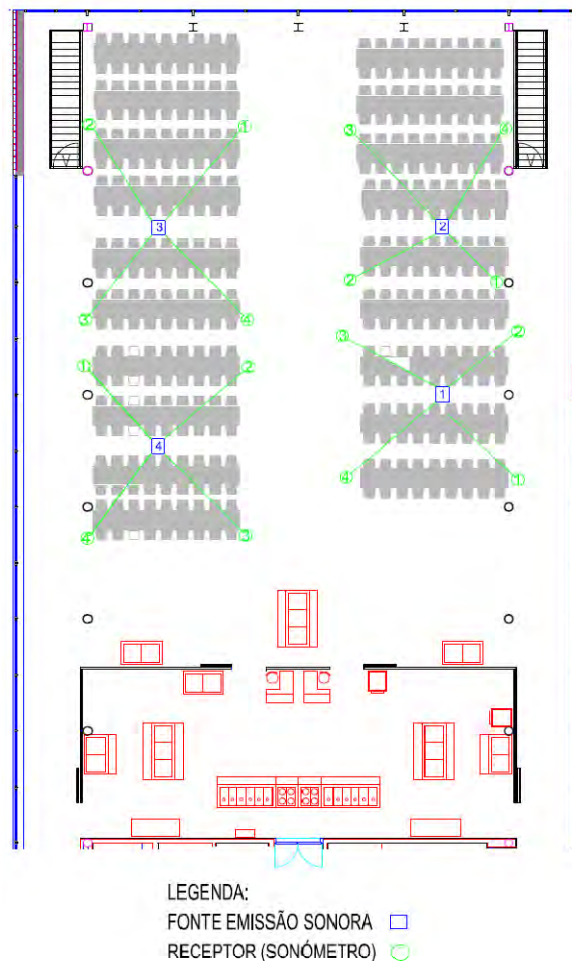


Figura 3.28 – Posições da fonte sonora e do sonómetro no Refeitório do Crasto

Refeitório de Santiago

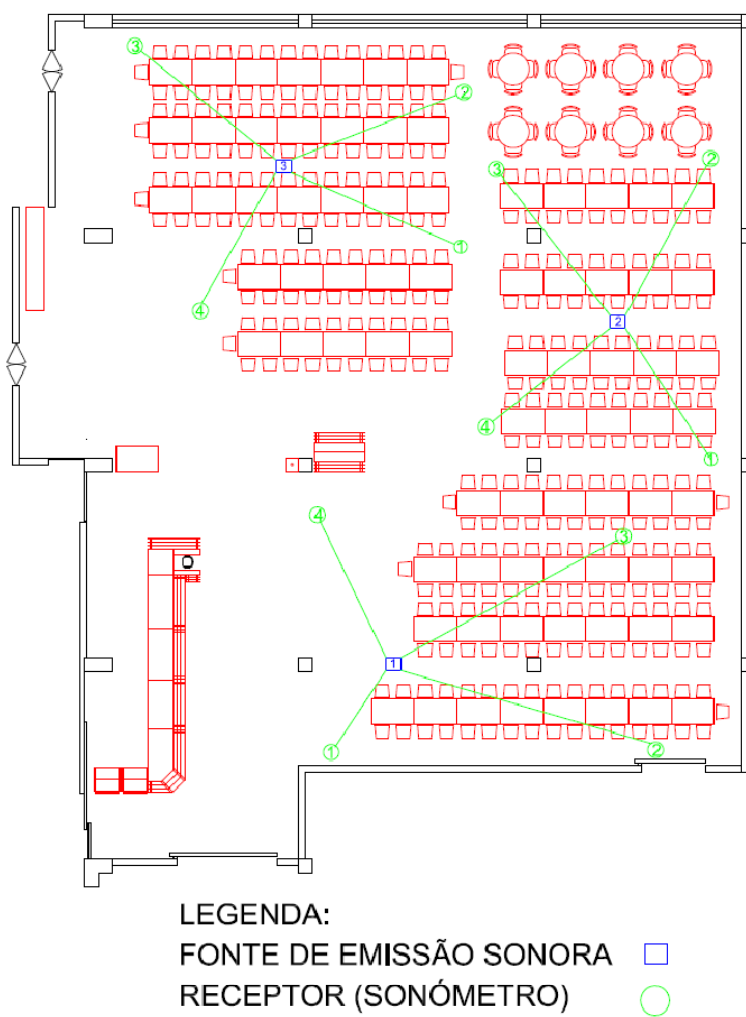
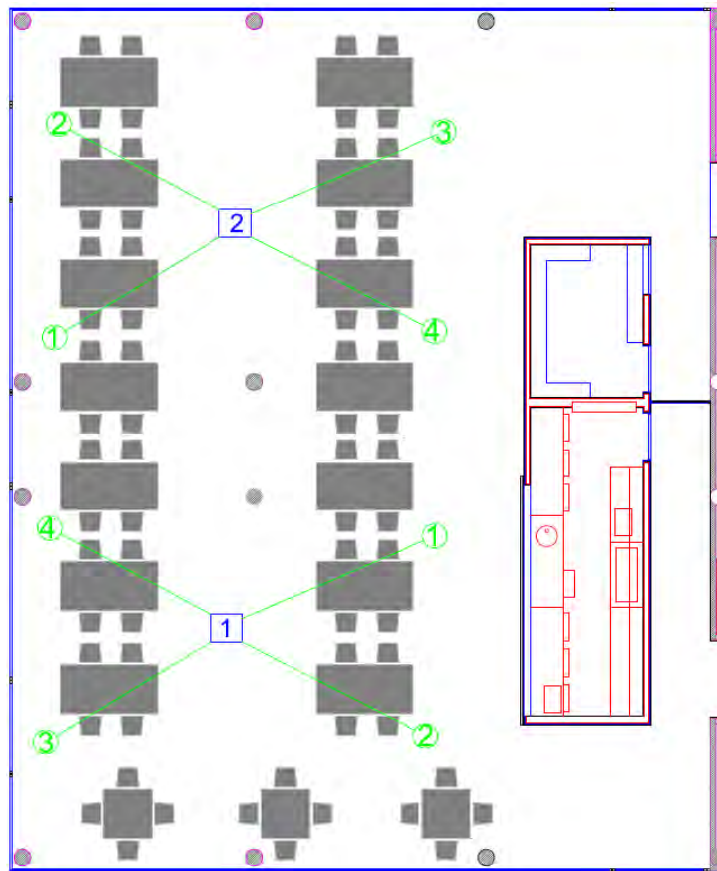


Figura 3.29 – Posições da fonte sonora e do sonómetro no Refeitório de Santiago

Restaurante do Complexo do Crasto**LEGENDA:**

FONTE EMISSÃO SONORA □

RECEPTOR (SONÓMETRO) ○

Figura 3.30 – Posições da fonte sonora e do sonómetro no Restaurante do Crasto

3.6.3 Cálculo do isolamento sonoro. Medições *in situ*.**3.6.3.1 Isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos**

Para se efectuarem as medições do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, é necessário seguir processos pré-definidos. Neste caso recorre-se a ensaios normalizados (NP EN ISO 140-4), onde são indicados todos os requisitos mínimos necessários, para efectuar este tipo de medições.

O presente trabalho consistiu em medir o isolamento sonoro entre dois compartimentos, dependendo deste modo, do comportamento acústico de um elemento horizontal, mais precisamente, de uma laje de divisão entre o refeitório do Crasto e o Restaurante, este último, situado no piso abaixo do refeitório.

O nível de pressão sonora deve ser medido utilizando um filtro de banda de um terço de oitava, tendo como frequências centrais o intervalo de valores situado entre 100Hz e 3150Hz (NP EN ISO 140-4).

Procedimentos

Para o local do emissor foi escolhida a sala do Refeitório do Crasto, sendo o Restaurante da mesma zona, o local eleito para receptor.

O equipamento utilizado para esta medição consistiu numa fonte de pressão sonora, que consta de um gerador de ruído, de um altifalante dodecaedro de radiação omnidireccional e de um sonómetro para interceptar o nível de ruído. Com o equipamento todo desligado, para minimizar o ruído de fundo, foi então produzido um ruído estacionário com um espectro contínuo, nas bandas de frequência consideradas.

Para proceder à avaliação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos, procedeu-se à avaliação do nível de pressão sonora no local emissor, L1, efectuando-se, para isso, várias medições de modo a preencher os requisitos mínimos exigidos. Na avaliação do nível de pressão sonora no local receptor, L2, realizaram-se, igualmente, várias medições para cada posicionamento da fonte emissora. Para este caso, foram contemplados seis pontos de posição, diferentes da fonte emissora (Figura 3.31).

O posicionamento do microfone (sonómetro) obedeceu a todos os requisitos mínimos exigidos. Este situava-se a cerca de 1,3m de altura em relação ao piso, encontrando-se afastado dos limites da sala a mais de 0,5m, tal como é exigido. Foi, de igual modo, medido o ruído de fundo. Foi de igual modo medido o ruído de fundo, tendo-se verificado que o nível de pressão sonora no compartimento receptor era superior a 10 dB que o ruído de fundo (NP EN ISO 140-4).

No início das medições procedeu-se à calibração do sonómetro usado para as medições, no final das medições repetiu-se este procedimento, com o objectivo primeiro de determinar a não ocorrência de anomalias com o equipamento, facto que poderia comprometer as medições realizadas.

Para se obter o isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado (DnT), é necessário recorrer à aplicação de uma equação (equação 3.1).

$$DnT = (L1 - L2) + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad \text{Equação 3.1}$$

L1 - nível médio de pressão sonora gerado no local emissor;

L2 - nível médio de pressão sonora gerado no local receptor;

T – tempo de reverberação existente no compartimento receptor;

T₀ – tempo de reverberação de referência.

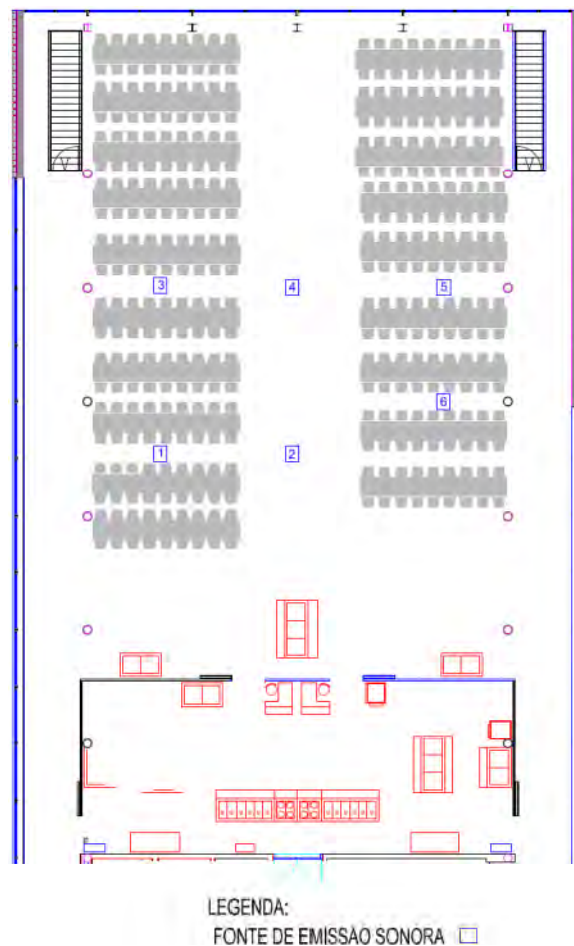


Figura 3.31 – Posicionamento da fonte de emissão sonora nas medições do isolamento sonoro a sons aéreos

3.6.3.2 Isolamento sonoro a sons de percussão

As medições de isolamento sonoro a sons de percussão obedecem a ensaios normalizados (NP EN ISO 140-7), onde são indicados os requisitos mínimos necessários. Do mesmo modo, também as medições que foram efectuadas nas salas de refeição da Universidade de Aveiro seguem essa padronização. A avaliação parte da mesma base do ponto anterior, em que as medições são feitas entre o Refeitório do Crasto e o Restaurante, separadas por um elemento horizontal (Laje).

O nível de pressão sonora deve ser medido, utilizando um filtro de banda de um terço de oitava, tendo como frequências centrais os valores compreendidos entre 100Hz até 3150Hz. (NP EN ISO 140-7).

Neste tipo de avaliação foi usada uma máquina de impactos (Figura 3.32), normalizada (ISO 140), desenhada para gerar um ruído de impacto normalizado para a medição, em laboratório e no local, do isolamento acústico dos solos a ruídos de percussão (<http://www.cesva.com>).



Figura 3.32 – Máquina de impacto (<http://www.cesva.com>)

Procedimentos

No seguimento das medições anteriormente descritas, também nestas medições tomou-se como opção escolher, como local do emissor, a sala do Refeitório do Crasto e, para o local do receptor, o restaurante do Crasto.

Para a produção do campo sonoro contribuíram a máquina de percussão (martelos) no local emissor e um sonómetro para interceptar o nível de ruído, no local receptor.

A máquina de percussão foi colocada em quatro pontos diferentes de posicionamento (Figura 3.33) aleatoriamente, o alinhamento desta seguiu uma orientação de 45° com as nervuras ou vigas estruturais. Foram efectuadas várias medições para estas posições obedecendo aos requisitos mínimos. As posições dos microfones seguiram os requisitos exigidos.

As medições foram iniciadas apenas quando foi obtido um nível de pressão sonora estacionário (NP EN ISO 140-7).

Para se obter o isolamento sonoro a sons de percussão padronizado (L'_{nT}), é necessário recorrer à aplicação de uma equação (equação 3.2).

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log \frac{T}{T_0} \quad \text{Equação 3.2}$$

L_i - nível médio de pressão sonora gerado no local receptor;

T - tempo de reverberação existente no compartimento receptor;

T_0 - tempo de reverberação de referência.

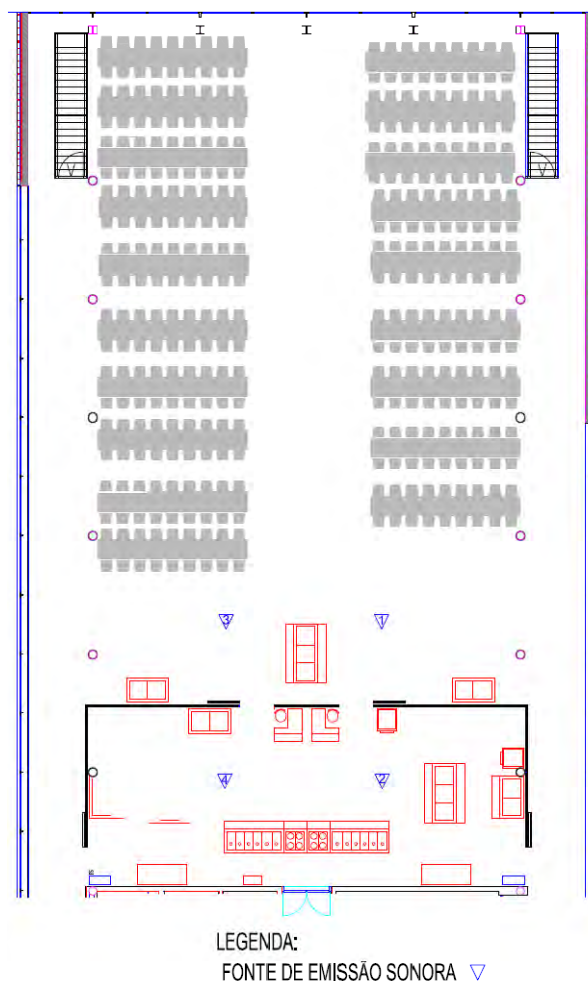


Figura 3.33 – Posicionamentos da fonte de emissão sonora nas medições do isolamento sonoro a sons de percussão

3.6.3.3 Isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas

Na avaliação do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas é usado o método global com altifalante para determinar a redução sonora de uma fachada.

Para se efectuarem medições de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea de fachada é necessário seguir determinados processos, seguindo a norma NP EN ISO 140-5, onde são indicados todos os requisitos mínimos necessários, para efectuar este tipo de medições.

O presente trabalho consistiu em medir a redução sonora de uma fachada do Refeitório do Crasto e do Restaurante do Crasto, dependendo deste modo, do comportamento acústico da fachada no seu global.

Procedimentos

Para efectuar as medições, o equipamento utilizado consistiu numa fonte de emissão sonora, conjunto que consta de um gerador de ruído e de um altifalante dodecaedro de radiação omnidireccional. Para avaliar o ruído emitido utilizou-se um sonómetro.

O altifalante foi colocado em mais do que uma posição, fora do edifício, a uma distância de mais ou menos 7m, sendo o ângulo de incidência das ondas sonoras igual a $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$.

O campo sonoro foi mantido estacionário com uma apresentação de um espectro contínuo na gama de frequências consideradas. As medições foram realizadas para bandas de um terço de oitava, utilizando frequências centrais entre os 100Hz e os 3150Hz (NP EN ISO 140-5). Foi então medido o nível médio de pressão num ponto exterior e com uma distância de 2m da fachada. Seguidamente foram efectuadas várias medições no interior das salas. No refeitório do Crasto, efectuaram-se medições para três posicionamentos da fonte. Para cada posição da fonte foi colocado o sonómetro em seis posições diferentes, fazendo assim uma análise de três áreas do refeitório (Figura 3.34). No Restaurante do Crasto, foram efectuadas apenas medições para duas posições da fonte, para as quais se efectuaram séries de sete medições no interior da sala (Figura 3.35).

O microfone seguiu todos os requisitos mínimos de posicionamento exigidos.

Para se obter o isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado de fachadas, $D_{2m,nT}$, é necessário recorrer à aplicação da equação (equação 3.4).

$$D_{2m,nT} = (L_1 - L_2) + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad \text{Equação 3.3}$$

$L_{1,2m}$ - nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício

L_2 - nível médio de pressão sonora medido no local receptor;

T – tempo de reverberação existente no compartimento receptor;

T_0 – tempo de reverberação de referência.

Relativamente ao refeitório do Crasto, foram medidos os T_r em bandas de oitava, neste caso e para determinar o valor do $D_{2m,nT}$, passou-se o valor de L_1 e L_2 medidos em 1/3 de oitava, para 1/1 banda de oitava. Neste caso o cálculo foi todo efectuado em 1/1 banda de oitava.



Figura 3.34 – Refeitório do Crasto - Posicionamentos da Fonte de emissão sonora e sonómetro, nas medições do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada



Figura 3.35 – Restaurante do Crasto - Posicionamentos da Fonte de emissão sonora e sonómetro, nas medições do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada

3.6.4 Determinação da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente

O nível de pressão sonora contínuo equivalente, L_{eq} , pode ser definido como o valor do nível de pressão sonora (em decibéis) de um ruído contínuo e estacionário que, dentro do intervalo de tempo da medição, tem a mesma pressão sonora quadrática média que o ruído em causa, e cujo nível é variável com o tempo. (NP EN ISO 140-5).

Procedimentos

A determinação da variação do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, L_{Aeq} , foi realizada no Refeitórios do Crasto e Santiago. Para a realização desta medição foi apenas utilizado um sonómetro que auxiliou na recolha e análise da variação dos níveis de pressão sonora.

Depois de calibrado, o equipamento foi estabilizado com um tripé, a uma altura de sensivelmente 1,5m do pavimento. Na sala, o sonómetro foi direccionado para o aglomerado que constitui a zona de refeição (Figura 3.36 e 3.37), onde ocorre grande parte das emissões de ruído. A medição teve uma duração de três horas e trinta minutos (03h30), com o propósito de abranger o período de funcionamento dos refeitórios, isto é, desde a abertura – 12h00 - até ao encerramento ao público dos espaços de refeição.

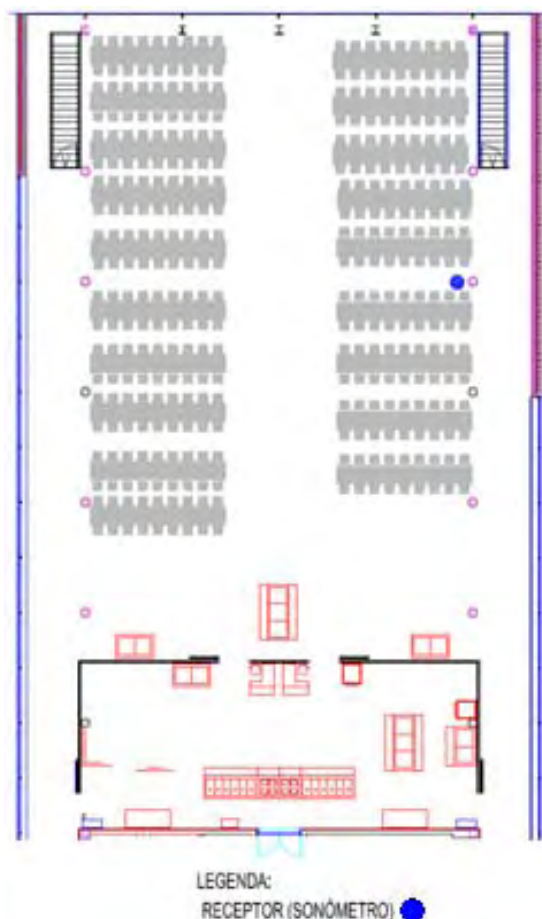


Figura 3.36 – Refeitório do Crasto - Posição do sonómetro para a medição da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente.

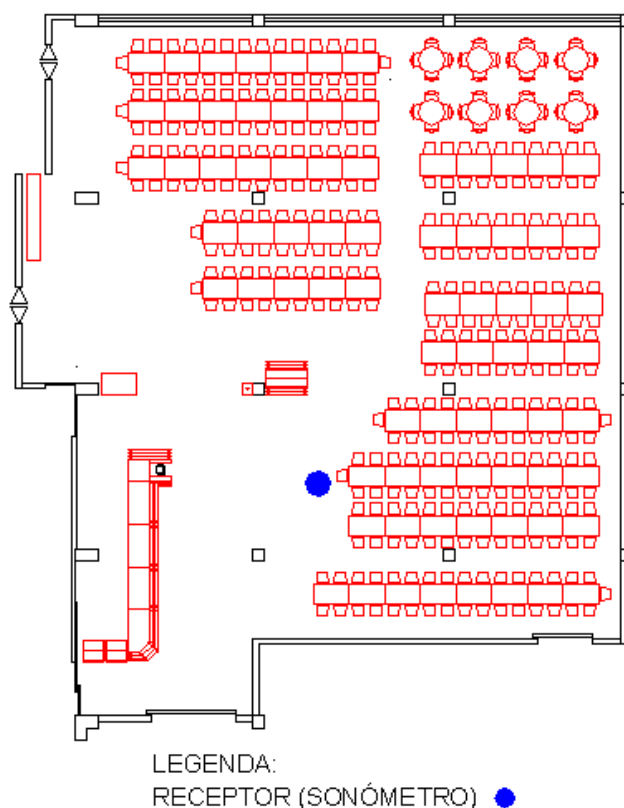


Figura 3.37 – Refeitório de Santiago - Posição do sonómetro para a medição da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente.

3.7 Caracterização subjectiva - inquérito

Como valor de apreciação à incomodidade e à sua origem que, por vezes, estes locais, dadas as suas características físicas e funcionais, podem provocar, entendeu o autor deste trabalho recolher opiniões de quem frequenta os espaços. Se é verdade que a engenharia civil com todas as ferramentas que já aqui foram descritas, possibilita, actualmente, determinar, com rigor matemático, o nível de ruído de um determinado espaço, também o é que a percepção desse mesmo ruído pode variar de indivíduo para indivíduo, de acordo com o seu historial, as suas vivências e demais características intrínsecas.

Por todas essas razões convidaram-se os utentes dos refeitórios a participar num inquérito online, e através dele, a manifestarem a sua percepção de ruído existente (ou não) nos refeitórios referenciados, já que, ninguém melhor que os frequentadores assíduos destas infra-estruturas da UA, poderá proceder a uma avaliação subjectiva, tão fidedigna

quanto possível, dos níveis de conforto e de qualidade que as salas de refeição oferecem. Do inquérito constaram questões directas, fechadas e de rápida resposta.

Procedimentos

Para a elaboração do inquérito e dada a temática do estudo, elaboraram-se questões de modo sequencial, ou seja, estruturadas e padronizadas seguindo uma ordem lógica. O inquérito seguiu assim um padrão de perguntas, em que a sua sequência incidia na escolha do refeitório frequentado, no tempo de permanência nos espaços, na avaliação, do possível ruído existente, nos efeitos por ele causados e nas causas que o provocam.

Todas as questões foram enunciadas segundo a regra da formulação da “resposta fechada”, na qual os inquiridos escolhiam um grupo de respostas pré-definidas e obrigatórias.

Para ir ao encontro ao universo de utentes dos refeitórios, optou-se pela disponibilização de um inquérito online, criado a partir da ferramenta “Google Docs” (<http://www.google.com>) que possibilitou, também, acompanhar a evolução do número de respostas recolhidas, o inquérito apresenta-se no anexo B. O inquérito online foi anunciado no @ua_online, o jornal online da academia, gerido e produzido pelo Sector de Informação e Comunicação dos Serviços de Relações Externas. A partir deste meio, o inquérito ficou também disponível para consulta em todos os sítios das unidades, serviços e Departamentos afectos à UA, integrando os destaques de cada uma daquelas páginas.

4. Resultados obtidos

4.1 Resultados obtidos através do cálculo do tempo de reverberação

Depois de reunidos os dados necessários à aplicação da equação, apresentam-se os resultados dos valores da área equivalente de absorção sonora, assim como, os respectivos tempos de reverberação para a gama de frequências de 125 Hz a 4000 Hz (Tabela 4.1 a 4.6). A fórmula de Sabine é usada para locais com campos sonoros difusos, dado o coeficiente de absorção médio do material ser baixo, esta equação torna-se a mais adequada.

Refeitório do Crasto

Tabela 4.1 – Área de absorção sonora equivalente para o Refeitório do Crasto

ELEMENTO	Área de absorção sonora equivalente ($\alpha_i A_i$)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Pavimento	11,53	17,29	17,29	17,29	17,29	17,29
Tecto falso	74,11	54,35	19,76	19,76	34,59	39,53
Envidraçado	12,01	8,41	6,01	3,60	2,40	2,40
Betão	2,79	2,79	5,57	5,57	5,57	13,93
Parede viroc	2,22	3,99	10,21	29,28	35,05	33,72
Porta	0,04	0,04	0,08	0,08	0,11	0,11
Vão abertos	21,66	21,66	21,66	21,66	24,36	27,07
Módulos Inox	3,95	2,96	1,98	0,99	0,49	0,49
Módulos Vidro	8,89	6,35	4,57	3,05	1,78	1,02
Guardas	7,98	5,99	3,99	2,00	1,00	1,00
Cadeiras vazias (unidades)	20,52	34,20	34,20	68,40	102,60	68,40
Cadeiras estofadas vazias	0,70	0,90	1,14	1,22	1,18	1,10
Mesas	0,58	0,58	0,58	1,16	2,32	2,90
Grelhas de Ventilação	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78	7,78
Σ	174,749	167,277	134,804	181,833	236,525	216,740

A análise à Tabela 4.1, revela que o tecto falso, constituído por gesso cartonado, tem um peso significativo na área de absorção sonora equivalente, para as baixas frequências. Para as altas, observa-se que as cadeiras plásticas contribuem para um valor elevado da área de absorção sonora equivalente.

Tabela 4.2 – Tempos de Reverberação para o Refeitório do Crasto

Cálculo do Tempo de Reverberação						
Banda de Frequências	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Área Absorção Sonora Equivalente	174,749	167,277	134,804	181,833	236,525	216,740
Volume	1922,84					
TR	1,761	1,839	2,282	1,692	1,301	1,419
TR Médio	1,716					

Refeitório de Santiago

Tabela 4.3 – Área de absorção sonora equivalente para o Refeitório de Santiago

ELEMENTO	Área de absorção sonora equivalente ($\alpha_i A_i$)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Pavimento	0,00	4,09	8,17	12,26	16,35	0,00
Tecto em Betão	46,89	34,10	29,84	25,58	21,31	21,31
Tecto em Madeira	3,49	2,72	1,94	1,55	1,36	1,16
Parede de alvenaria	0,00	0,77	1,55	1,55	1,55	0,00
Pilares em betão	0,78	0,78	0,78	1,57	1,57	1,57
Janelas	25,20	16,80	8,40	5,88	4,20	1,68
Parede envidraçada	30,99	22,14	15,94	10,63	6,20	3,54
Portas inox	0,05	0,05	0,10	0,10	0,14	0,14
Porta madeira	0,30	0,22	0,13	0,17	0,22	0,22
Vão aberto	3,75	3,75	3,75	3,75	4,22	4,69
Cadeiras vazias	3,58	3,58	3,58	7,16	14,32	17,90
Cadeira almofadada	0,35	0,45	0,57	0,61	0,59	0,55
Mesas	1,23	1,23	1,84	2,46	3,69	4,91
Equipamento (Inox)	2,50	1,87	1,25	0,62	0,31	0,31
Equipamento (vidro)	1,84	1,32	0,95	0,63	0,37	0,21
Equipamento (vidro duplo)	0,13	0,09	0,06	0,04	0,03	0,03
Grelhas de ventilação	5,76	5,76	5,76	5,76	5,76	5,76
Σ	126,851	99,717	84,618	80,316	82,179	63,991

A Tabela 4.3 mostra que, no Refeitório de Santiago, o tecto alveolar em betão armado, as janelas e a parede envidraçada contribuem, sobejamente, para a área de absorção sonora, correspondente às baixas frequências. No que toca às altas frequências, são as cadeiras e o tecto que detêm uma maior área de absorção sonora equivalente.

Tabela 4.4 – Tempos de Reverberação para o Refeitório de Santiago

Cálculo do Tempo de Reverberação						
Banda de Frequências	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Área Absorção Sonora Equivalente	126,851	99,717	84,618	80,316	82,179	63,991
Volume (m ³)	1435					
TR (s)	1,810	2,303	2,713	2,859	2,794	3,588
TR Médio	2,678					

Restaurante do Complexo do Crasto

Tabela 4.5 – Área de absorção sonora equivalente para o Restaurante do Crasto

ELEMENTO	Área de absorção sonora equivalente ($\alpha_i A_i$)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Pavimento	0,00	1,84	3,68	5,52	7,36	0,00
Tecto falso	27,59	20,23	7,36	7,36	12,87	14,71
Envidraçado	4,52	4,52	4,52	3,01	3,01	3,01
Parede	0,41	0,41	0,81	0,81	0,81	2,04
Divisória do Balcão	10,24	7,51	2,73	2,73	4,78	5,46
Porta em vidro	0,45	0,30	0,23	0,15	0,15	0,08
Porta Aberta	2,24	2,24	2,24	2,24	2,52	2,80
Cadeiras vazias	4,08	6,80	6,80	13,60	20,40	13,60
Mesas	0,25	0,25	0,25	0,50	1,00	1,26
Σ	49,519	43,841	28,360	35,418	51,903	41,695

Na tabela 4.5, respeitante ao Restaurante do Crasto, observa-se que o tecto falso representa o elemento com maior área de absorção sonora equivalente, tanto nas altas como nas baixas frequências. As cadeiras plásticas continuam a representar, nesta sala, uma maior área de absorção sonora, no espectro das frequências elevadas.

Tabela 4.6 – Tempos de Reverberação para o Restaurante do Crasto

Cálculo do Tempo de Reverberação						
Banda de Frequências	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Área Absorção Sonora Equivalente	49,519	43,841	28,360	35,418	51,903	41,695
Volume (m ³)	553,8					
TR (s)	1,789	2,021	3,124	2,502	1,707	2,125
TR Médio	2,212					

4.2 Resultados das medições dos tempos de reverberação.

Os valores obtidos nas medições, descritas anteriormente, foram descarregados com uma aplicação de software, o *capture studio*, produzido pela CESVA. Este software permite transferir e visualizar os dados do sonómetro em tempo real, bem como, proceder à transferência dos dados para um ficheiro Microsoft Office Excel (.xls).

De seguida, apresentam-se os valores do tempo de reverberação para as referidas salas em estudo, medidos em intervalos de bandas de oitava.

Refeitório do Crasto

Tal como descrito no Capítulo 3, no Refeitório do Crasto foram efectuadas medições para quatro pontos distintos de posicionamento da fonte sonora. A apresentação de resultados descreve os valores obtidos para cada fonte relativamente às diferentes gamas de frequência (Tabela 4.7 a 4.10). A representação gráfica (Figura 4.1 a 4.4) dos valores do TR, mostra a variação para as diferentes gamas de frequência, em cada fonte sonora.

Tabela 4.7 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório do Crasto (Fonte 1) em bandas de oitava

FONTE 1	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	2,95	3,29	3,33	3,07	2,67	2,01
P2	2,99	3,18	3,38	3,10	2,64	2,01
P3	3,08	3,43	3,41	3,02	2,60	2,01
P4	2,93	3,25	3,42	3,08	2,55	1,98
TR (Média)	2,99	3,29	3,39	3,07	2,61	2,00
Desvio Padrão	0,07	0,10	0,04	0,03	0,05	0,01
TR (s)	3,02					

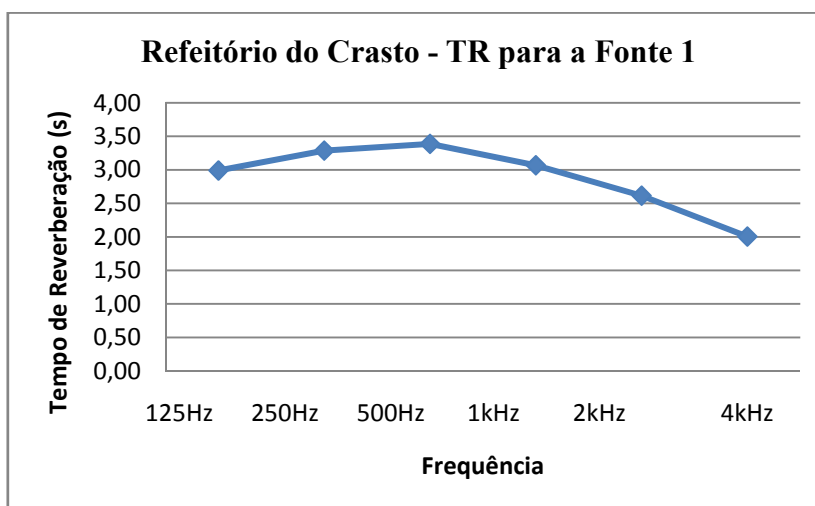


Figura 4.1 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório do Crasto (Fonte 1) em bandas de oitava

Tabela 4.8 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 2) em bandas de oitava

FONTE 2	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	3,20	3,36	3,41	3,18	2,68	2,02
P2	3,25	3,24	3,38	3,09	2,60	1,96
P3	2,96	3,20	3,26	3,13	2,72	1,98
P4	2,97	3,22	3,37	3,10	2,62	2,03
TR (Média)	3,10	3,25	3,35	3,13	2,65	2,00
Desvio Padrão	0,15	0,07	0,07	0,04	0,05	0,03
TR (s)	3,04					

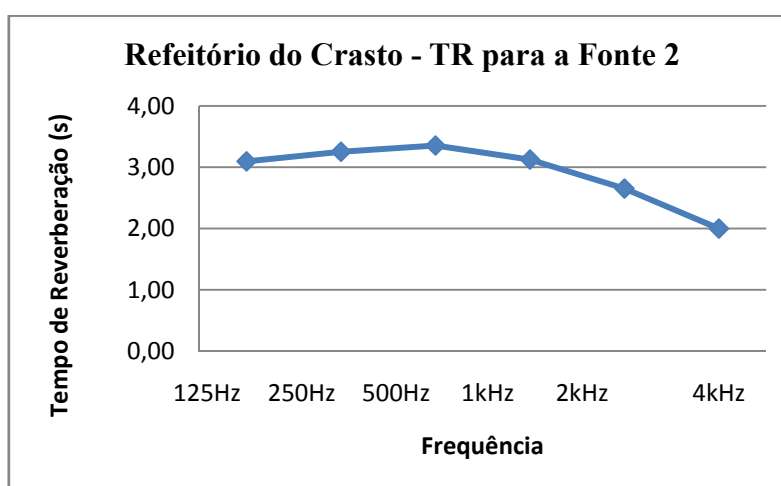


Figura 4.2 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 2) em bandas de oitava

Tabela 4.9 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 3) em bandas de oitava

FONTE 3	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	3,38	3,11	3,33	3,13	2,59	1,99
P2	3,14	3,12	3,41	3,14	2,65	1,99
P3	3,46	3,50	3,38	3,13	2,61	1,96
P4	2,92	3,58	3,36	3,00	2,58	2,01
TR (Média)	3,23	3,33	3,37	3,10	2,61	1,99
Desvio Padrão	0,25	0,24	0,04	0,07	0,03	0,02
TR (s)	3,03					

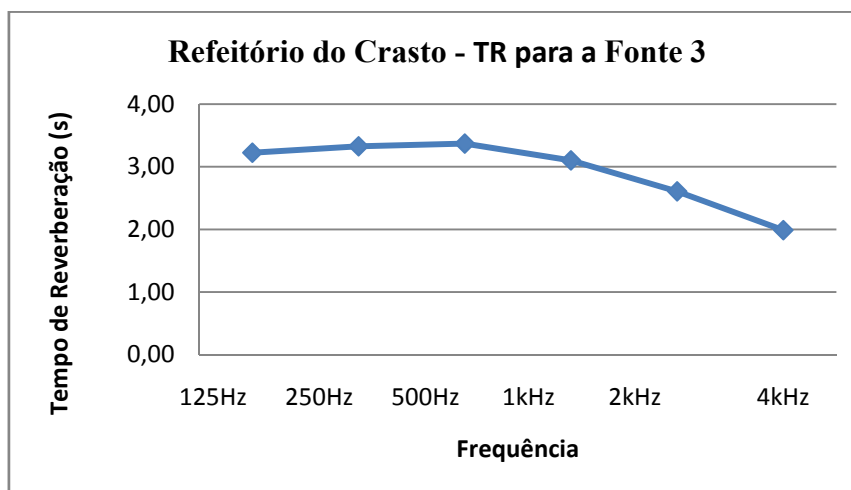


Figura 4.3 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 3) em bandas de oitava

Tabela 4.10 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 4) em bandas de oitava

FONTE 4	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	2,95	3,35	3,29	3,07	2,67	2,02
P2	3,12	3,30	3,47	3,11	2,63	2,01
P3	2,80	3,28	3,45	3,22	2,61	2,04
P4	3,09	2,90	3,26	3,14	2,63	1,99
TR (Média)	2,99	3,21	3,37	3,14	2,63	2,02
Desvio Padrão	0,15	0,21	0,11	0,06	0,03	0,02
TR (s)	3,05					

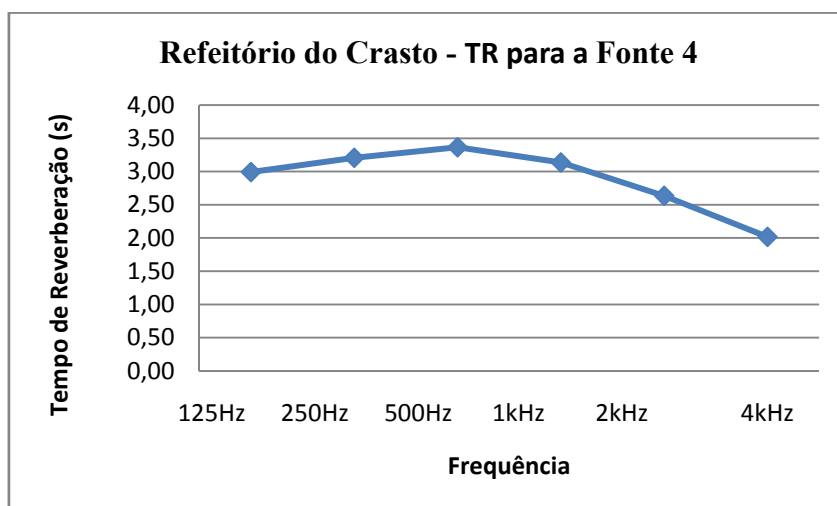


Figura 4.4 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 4) em bandas de oitava

De seguida, são apresentados os valores globais dos tempos de reverberação para cada banda de frequência e o seu respectivo desvio padrão (Tabela 4.11). Apresenta-se, deste modo, através da média de valores obtidos, o valor do TR para o Refeitório do Crasto.

Tabela 4.11 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório do Crasto (bandas de oitava)

Tempos de Reverberação (s)		Frequência (Hz)					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Fonte 1	P1	2,95	3,29	3,33	3,07	2,67	2,01
	P2	2,99	3,18	3,38	3,10	2,64	2,01
	P3	3,08	3,43	3,41	3,02	2,60	2,01
	P4	2,93	3,25	3,42	3,08	2,55	1,98
Fonte 2	P1	3,20	3,36	3,41	3,18	2,68	2,02
	P2	3,25	3,24	3,38	3,09	2,60	1,96
	P3	2,96	3,20	3,26	3,13	2,72	1,98
	P4	2,97	3,22	3,37	3,10	2,62	2,03
Fonte 3	P1	3,38	3,11	3,33	3,13	2,59	1,99
	P2	3,14	3,12	3,41	3,14	2,65	1,99
	P3	3,46	3,50	3,38	3,13	2,61	1,96
	P4	2,92	3,58	3,36	3,00	2,58	2,01
Fonte 4	P1	2,95	3,35	3,29	3,07	2,67	2,02
	P2	3,12	3,30	3,47	3,11	2,63	2,01
	P3	2,80	3,28	3,45	3,22	2,61	2,04
	P4	3,09	2,90	3,26	3,14	2,63	1,99
TR (Média)		3,12	3,26	3,37	3,11	2,63	2,00
Desvio Padrão		0,18	0,12	0,05	0,04	0,05	0,02
TR (s)		2,91					

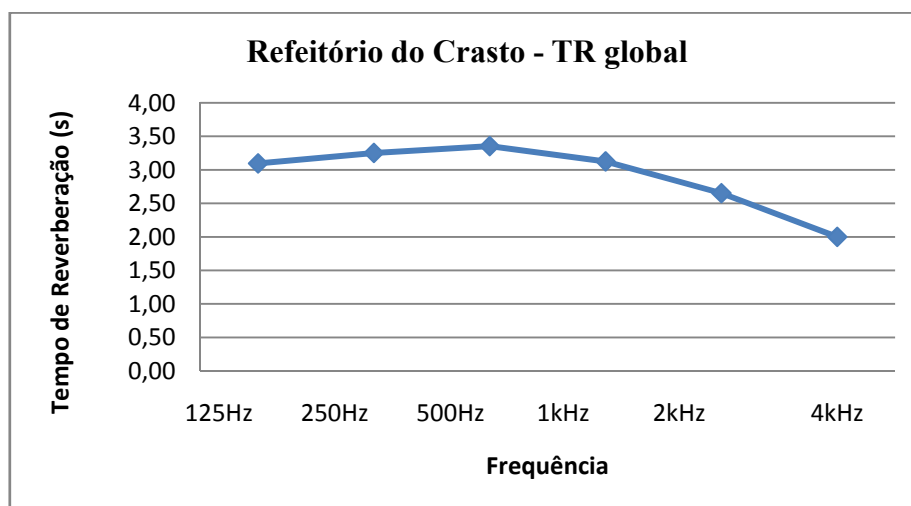


Figura 4.5 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Crasto (Fonte 4) em bandas de oitava

Refeitório de Santiago

No Refeitório de Santiago foram efectuadas medições para três pontos distintos de posicionamento da fonte sonora. A apresentação de resultados descreve os valores obtidos para cada fonte, relativamente às diferentes gamas de frequência (Tabela 4.12 a 4.13). A representação gráfica (Figura 4.6 a 4.8) dos valores do TR mostra a variação para as diferentes gamas de frequência em cada fonte sonora.

Tabela 4.12 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 1) em bandas de oitava

FONTE 1	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	3,31	2,56	3,11	2,95	2,53	2,02
P2	2,17	3,07	3,29	2,95	2,53	2,04
P3	3,23	2,94	3,12	1,97	2,59	2,17
P4	3,31	2,76	3,14	3,01	2,60	2,13
TR (Média)	3,01	2,83	3,17	2,72	2,56	2,09
Desvio Padrão	0,56	0,22	0,08	0,50	0,04	0,07
TR (s)	2,82					

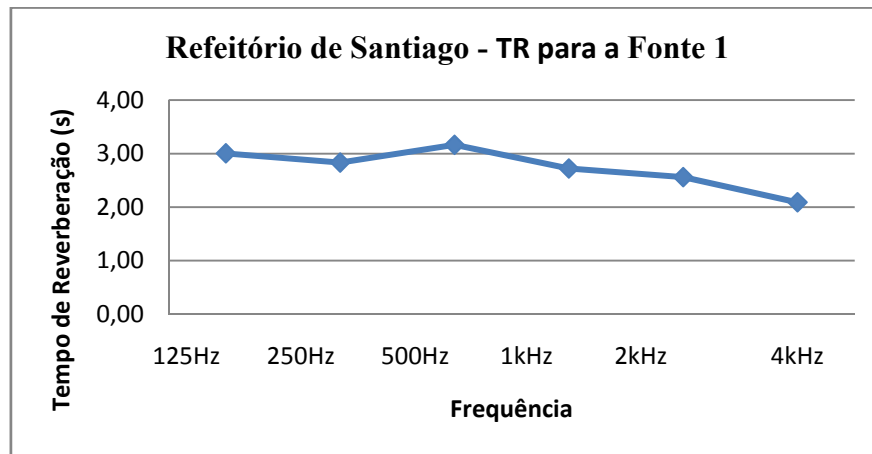


Figura 4.6 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 1) em bandas de oitava

Tabela 4.13 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 2) em bandas de oitava

FONTE 2	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	3,30	2,77	3,33	2,93	2,59	2,16
P2	2,99	2,82	3,16	2,90	2,58	2,15
P3	3,15	2,87	3,13	2,94	2,64	2,19
P4	3,00	2,75	3,22	3,04	2,68	2,28
TR (Média)	3,11	2,80	3,21	2,95	2,62	2,19
Desvio Padrão	0,15	0,05	0,09	0,06	0,04	0,06
TR (s)	2,93					

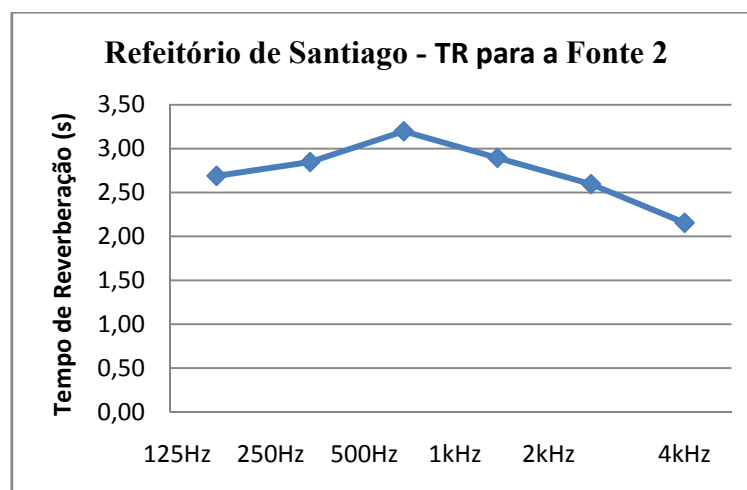


Figura 4.7 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 3) em bandas de oitava

Tabela 4.14 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 3) em bandas de oitava

FONTE 3	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	3,09	2,85	3,24	2,96	2,60	2,19
P2	2,97	2,70	3,08	2,98	2,57	2,12
P3	3,16	3,25	3,37	3,22	2,66	2,25
TR (Média)	3,07	2,93	3,23	3,06	2,61	2,19
Desvio Padrão	0,10	0,29	0,14	0,14	0,05	0,06
TR (s)	2,97					

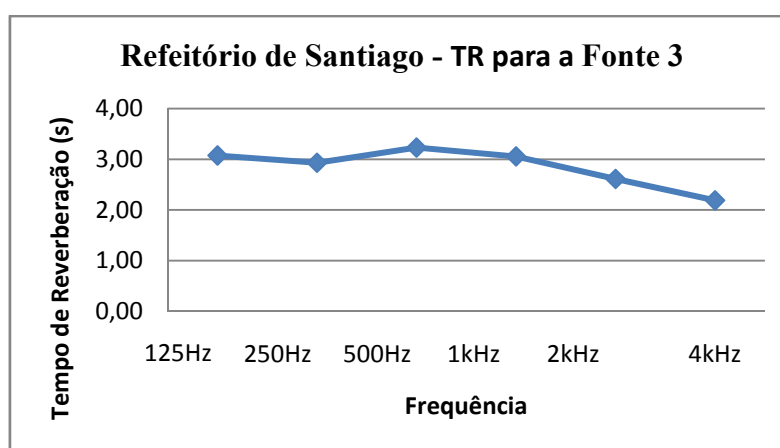


Figura 4.8 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (Fonte 3) em bandas de oitava

Obtidos os valores para as diferentes posições da fonte sonora apresentam-se, de seguida, os valores globais dos tempos de reverberação obtidos no Refeitório de Santiago (Tabela 4.15), bem como, a representação gráfica (Figura 4.9) da variação dos valores de TR para as diferentes bandas de frequência.

Tabela 4.15 - Tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago (bandas de oitava)

Tempos de Reverberação (s)		Frequência (Hz)					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Fonte 1	P1	3,31	2,56	3,11	2,95	2,53	2,02
	P2	2,17	3,07	3,29	2,95	2,53	2,04
	P3	3,23	2,94	3,12	1,97	2,59	2,17
	P4	3,31	2,76	3,14	3,01	2,60	2,13
Fonte 2	P1	3,30	2,77	3,33	2,93	2,59	2,16
	P2	2,99	2,82	3,16	2,90	2,58	2,15
	P3	3,15	2,87	3,13	2,94	2,64	2,19
	P4	3,00	2,75	3,22	3,04	2,68	2,28
Fonte 3	P1	3,09	2,85	3,24	2,96	2,60	2,19
	P2	0,99	2,70	3,08	2,98	2,57	2,12
	P3	1,05	3,25	3,37	3,22	2,66	2,25
TR (Média)		2,69	2,85	3,20	2,90	2,60	2,15
Desvio Padrão		0,88	0,19	0,10	0,32	0,05	0,08
TR (s)		2,73					

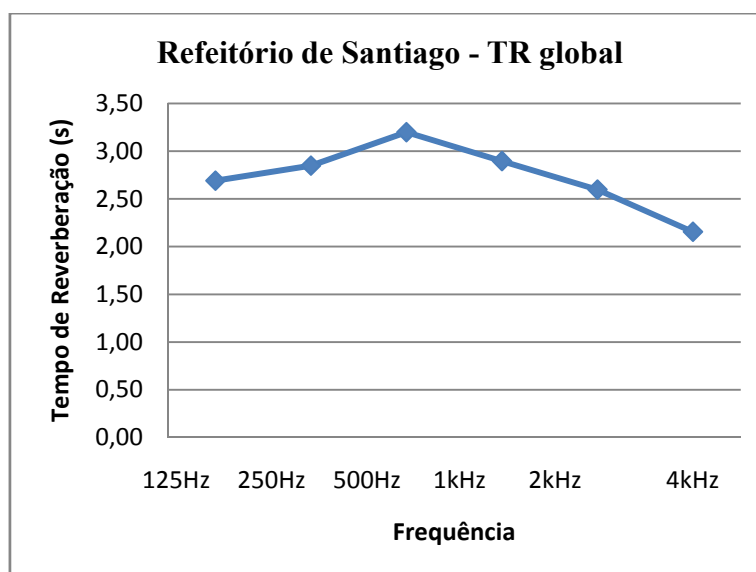


Figura 4.9 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Refeitório de Santiago em bandas de oitava

Restaurante do Complexo do Crasto

No Restaurante do Crasto efectuaram-se medições somente para duas posições da fonte sonora. A apresentação de resultados descreve os valores obtidos para cada fonte, relativamente às diferentes gamas de frequência (Tabela 4.16 a 4.17). A variação dos valores do TR para as diferentes bandas é apresentada através da visualização gráfica (Figura 4.10 a 4.11).

Tabela 4.16 - Tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (Fonte 1) em bandas de oitava

FONTE 1	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	2,10	2,97	3,17	3,01	2,63	2,12
P2	2,15	3,11	3,25	2,96	2,56	2,09
P3	1,98	3,20	3,16	2,93	2,54	2,12
P4	1,89	2,95	3,30	2,98	2,51	2,12
TR (Média)	2,03	3,05	3,22	2,97	2,56	2,11
Desvio Padrão	0,12	0,12	0,07	0,03	0,05	0,02
TR (s)	2,91					

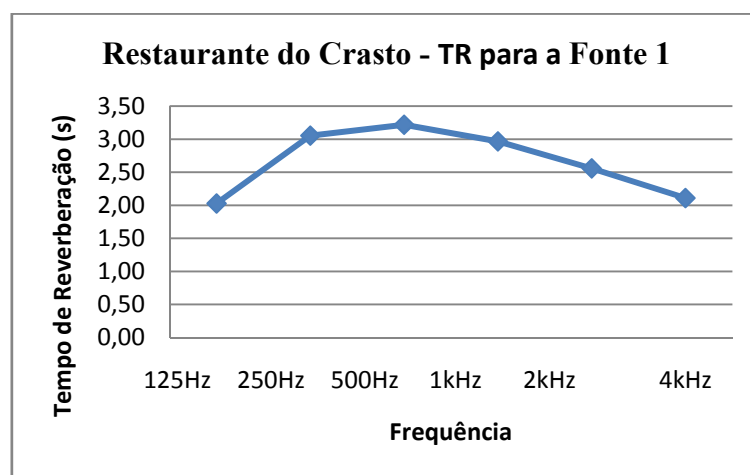


Figura 4.10 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (Fonte 1) em bandas de oitava

Tabela 4.17 - Tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (Fonte 2) em bandas de oitava

FONTE 2	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
P1	2,19	3,01	3,04	2,88	2,57	2,14
P2	2,02	3,16	3,06	2,97	2,52	2,18
P3	2,27	3,05	3,10	2,95	2,55	2,16
P4	2,36	2,93	3,10	3,00	2,59	2,15
TR (Média)	2,21	3,03	3,07	2,95	2,56	2,16
Desvio Padrão	0,14	0,10	0,03	0,05	0,03	0,01
TR (s)	2,86					

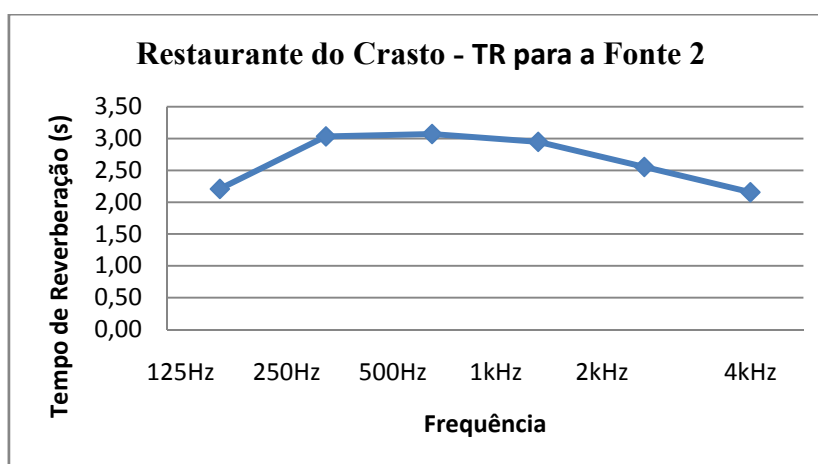


Figura 4.11 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (Fonte 2) em bandas de oitava

Os valores médios do TR para a sala do Restaurante do Crasto são apresentados de seguida (Tabela 4.18), assim como, a variação dos valores para as diferentes bandas de frequência, apresentadas graficamente (Figura 4.12).

Tabela 4.18 - Tempos de reverberação (s) medidos no Restaurante do Crasto (bandas de oitava)

Tempos de Reverberação (s)		Frequência (Hz)					
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Fonte 1	P1	2,10	2,97	3,17	3,01	2,63	2,12
	P2	2,15	3,11	3,25	2,96	2,56	2,09
	P3	1,98	3,20	3,16	2,93	2,54	2,12
	P4	1,89	2,95	3,30	2,98	2,51	2,12
Fonte 2	P1	2,10	2,97	3,17	3,01	2,63	2,12
	P2	2,15	3,11	3,25	2,96	2,56	2,09
	P3	1,98	3,20	3,16	2,93	2,54	2,12
	P4	1,89	2,95	3,30	2,98	2,51	2,12
TR (Média)		2,03	3,05	3,22	2,97	2,56	2,11
Desvio Padrão		0,11	0,11	0,06	0,03	0,05	0,02
TR (s)		2,66					

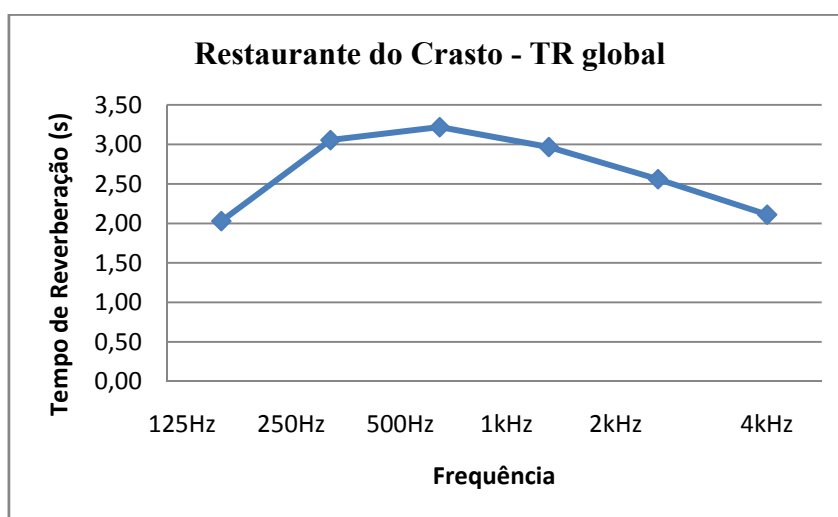


Figura 4.12 – Gráfico dos tempos de reverberação (s) globais medidos no Restaurante do Crasto em bandas de oitava.

4.3 Resultado das medições do isolamento sonoro no Refeitório e Restaurante do Crasto

Através dos valores dos tempos de reverberação obtidos no Refeitório do Crasto, para a gama de frequências, situada no intervalo compreendido entre 100Hz e 1350Hz, e pela aplicação da equação 4.1, obteve-se uma curva do isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado. Ao ajustar-se a curva de referência de acordo com a norma ISO 717-1, o valor obtido para $D_{nT,w}$, traduz-se em 60dB.

A aplicação da equação 3.2, direccionada para o isolamento sonoro a sons de percussão, dita a obtenção de uma curva do isolamento sonoro a sons percussão padronizado. O ajustamento da curva de referência, de acordo com a norma ISO 717-2, revela que para, $L'_{nT,w}$, o valor foi de 64dB.

No que respeita ao isolamento sonoro a sons aéreos de fachada, e partindo da aplicação da equação 4.3, poder-se-á afirmar que, ajustando a curva de referência, de acordo com a norma ISO 717-1, o valor de, $D2m,nT,w$, obtido para a fachada do Refeitório do Crasto foi de 36dB e, para a fachada do Restaurante do Crasto de 28dB.

No anexo A, encontra-se a ficha de resultados relativa às medições do isolamento sonoro.

4.4 Resultado das medições da variação dos níveis de pressão sonora equivalente

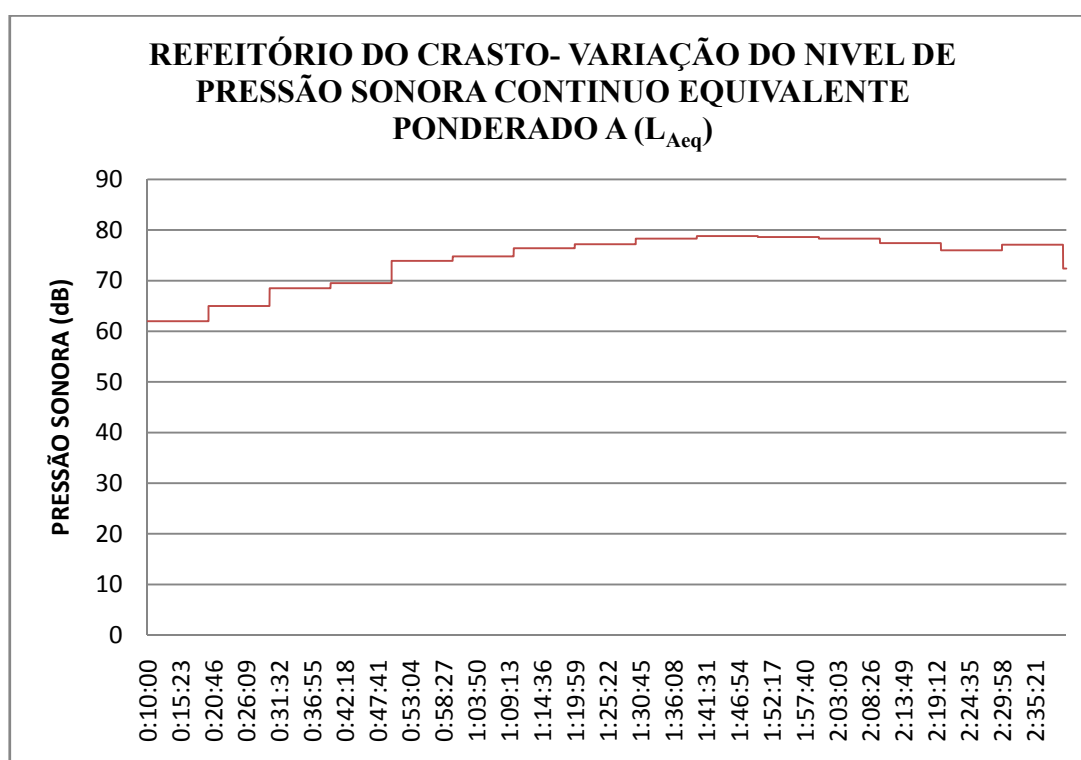


Figura 4.13 – Refeitório do Crasto – Gráfico representativo da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente

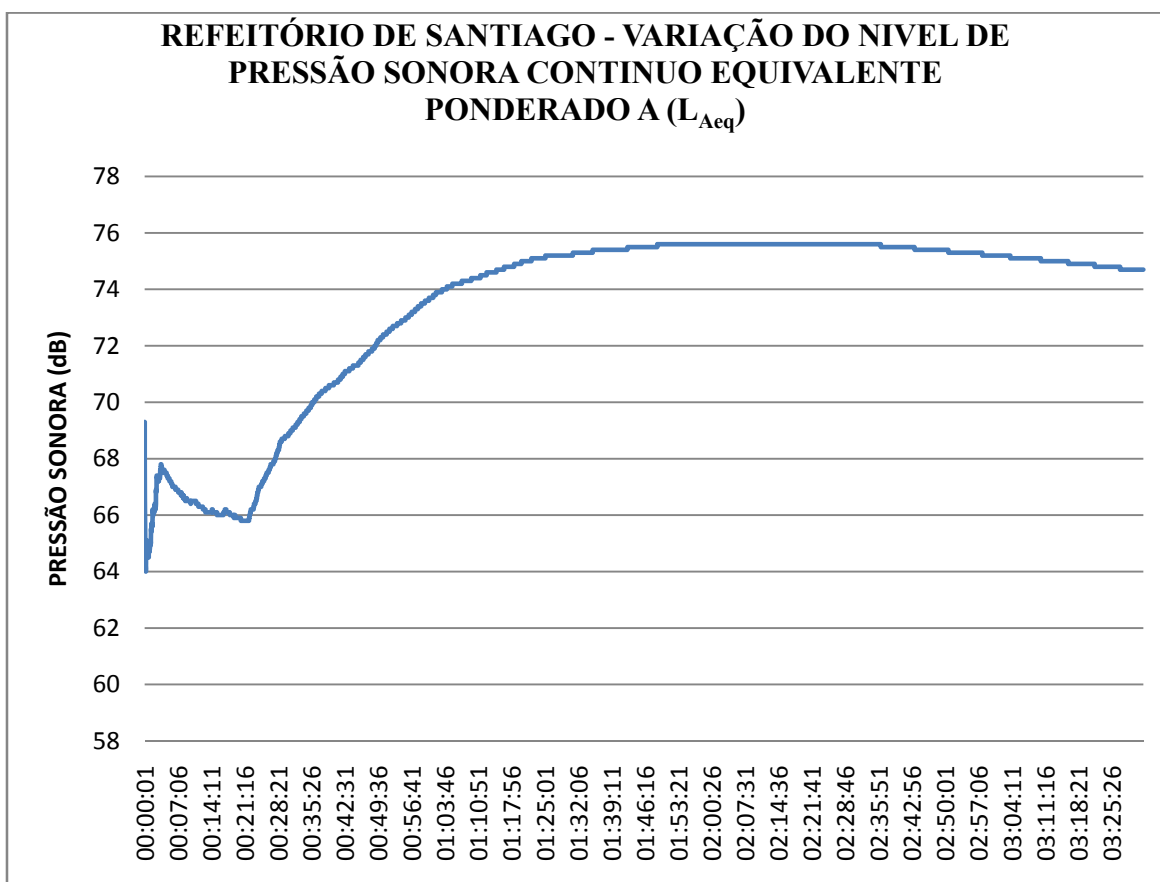


Figura 4.14 – Refeitório de Santiago – Gráfico representativo da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente

4.5 Resultados globais do inquérito

No inquérito colaboraram 305 respondentes, dos quais 127 revelaram ser utilizadores do Refeitório do Crasto e 167 frequentadores do Refeitório de Santiago. 85,6% das respostas obtidas provieram de alunos da UA. De Seguida, apresentam-se os dados recolhidos do inquérito (Tabela 4.19).

Tabela 4.19 – Resultados globais das respostas ao inquérito

	R. do Crasto	R. de Santiago
1. Com que regularidade frequenta este espaço alimentar:		
Raras Vezes (uma vez por semana)	63	75
Algumas vezes (três vezes por semana)	33	46
Frequentemente (+ de três vezes por semana)	30	55
2. Normalmente quando se desloca a este refeitório, vem:		
Sozinho	9	10
Em grupo (1 amigo)	17	34
Em grupo (2 ou mais amigos)	100	132
3. Qual o período de tempo que escolhe, habitualmente, para se deslocar aos espaços de refeição:		
12h00	11	18
12h30 - 13h00	64	88
13h30 - 14h00	51	63
Depois das 14h00	3	10
4. Quanto tempo permanece, em média, nas salas de refeição da UA:		
15 minutos	4	6
15 a 30 minutos	69	98
30 a 45 minutos	48	62
+ de 45 minutos	15	10
5. Considera o ruído um factor incomodativo neste espaço de refeição:		
Sim	81	116
Não	45	60
6. Assinale a razão/razões pela(s) qual/quais considera o ruído incomodativo:		
Dificulta o diálogo	75	112
Diminui concentração	10	19
Causa mau-estar	43	62
Potencia ambientes tensos	23	33
Proporciona tempos de atendimento maior	15	28
Outras	12	12
Branco	32	52
7. Classifique o ruído neste espaço de refeição:		
1 (Nenhum)	0	0
2	14	7
3	59	64
4	43	83
5 (Muito)	10	22
8. Como compara o ruído existente neste refeitório com outros espaços assimilares a este:		
1 (Menos ruidoso)	5	2
2	22	10
3(Igual)	61	94
4	32	60
5 (Muito ruidoso)	6	10
9. Considera o ruído um factor inibidor para frequentar este espaço de refeição:		
Sim	45	61
Não	81	115
10. Neste espaço, qual a fonte que considera ser a mais influente na produção de ruído?		
Cozinha	9	5
Mobiliário (cadeiras, mesas, tabuleiros)	13	21
Pessoas	104	149
“Ambiente” exterior	0	1
11. Quando encontra este espaço particularmente ruidoso:		
Abandona o local	7	10
Eleva o tom de voz	33	48
Modera o tom de voz	14	17
Tem cuidado com a movimentação do mobiliário (tabuleiros, cadeiras, mesas, ...)	16	16
Adverte para o excesso de ruído	3	6
Não faz nada	53	73

5 Análise global dos resultados

Neste capítulo, analisaram-se os valores obtidos, relativamente, aos parâmetros acústicos determinados neste trabalho, compararam-se os resultados alcançados para cada refeitório, de acordo com as exigências legais, em vigor.

A análise dos parâmetros permitirá obter informação sobre o comportamento dos espaços, auxiliando, deste modo, a apresentação de possíveis medidas correctivas passíveis de serem implementadas.

5.1 Análise do tempo de reverberação. Cálculo teórico

Para a análise dos valores obtidos, através da aplicação da fórmula de Sabine, apresentam-se os resultados das salas em estudo (Tabela 5.1), assim como, a variação do TR, através da representação gráfica (Figura 5.1), apenas para as bandas de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz. Esta escolha deveu-se ao facto de, na legislação, os valores exigidos para limites regulamentares serem referenciados à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências referidas (Decreto-Lei nº 96/2008).

Tabela 5.1 - Valores do tempo de Reverberação calculados para as frequências de 500Hz a 2000Hz, das Salas

Salas	Frequências			TR (Médio)
	500Hz	1000Hz	2000Hz	
Refeitório do Crasto	2,282	1,692	1,301	1,758
Refeitório de Santiago	2,713	2,859	2,794	2,789
Restaurante do Crasto	3,124	2,502	1,707	2,444

Os valores médios do tempo de reverberação obtidos, em cada um dos espaços, foram respectivamente, 1,75 s; 2,79 e 2,44 s (Tabela 5.4). Estes valores permitem aferir que para os tempos de reverberação em refeitórios (Figura 2.10), os valores de cálculo obtidos são muito superiores aos ideais, que variam entre 0,8 s e 1,2 s.

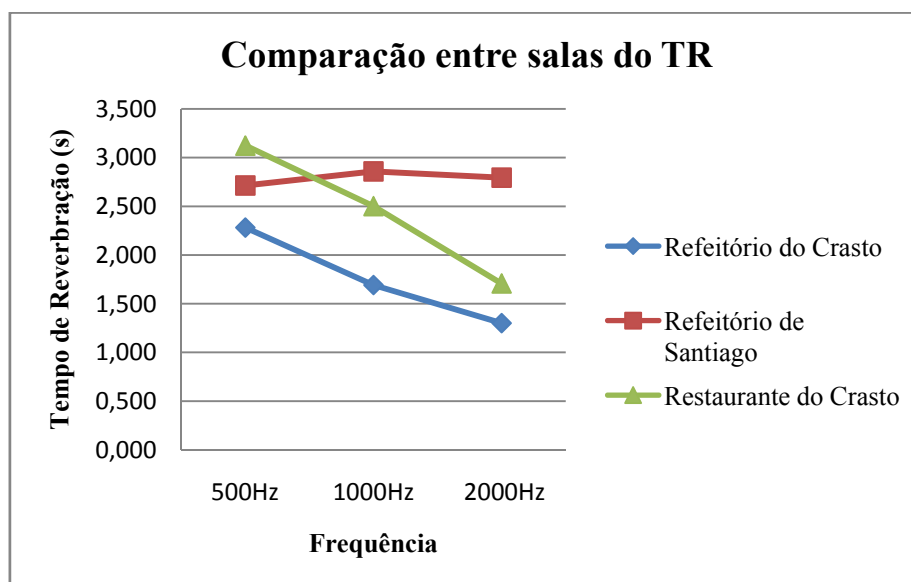


Figura 5.1 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação calculados para as frequências de 500Hz a 2000Hz, das salas

A análise do gráfico (Figura 5.1) revela diferenças significativas dos tempos de reverberação entre as salas. A sala do Refeitório do Crasto apresenta valores de cálculo significativamente mais baixos do que as restantes. Este facto deve-se, sobretudo, aos elevados valores da área de absorção sonora equivalente (Tabela 4.1) que a sala manifesta, havendo um decréscimo da frequência de 500 Hz - valor mais elevado - para a frequência de 2000 Hz - valor mais baixo.

No Restaurante do Crasto o tempo de reverberação, para as diferentes frequências, sofre, de igual modo, um decréscimo do seu valor, idêntico ao observado no Refeitório do Crasto. Em ambos os casos, este decréscimo do tempo de reverberação para as altas frequências deve-se à influência da absorção sonora das cadeiras.

Relativamente ao Refeitório de Santiago, os tempos de reverberação, para as diferentes frequências, mostram-se bastante idênticos, devido aos valores das áreas de absorção sonora equivalente serem bastante homogêneos. Nesta sala as áreas de absorção são mais baixas, logo, apresentam um tempo de reverberação médio mais elevado, comparativamente às restantes.

5.1.1 Comparação do tempo de reverberação calculado com os valores limites regulamentares

O cumprimento da legislação em vigor dita a necessidade de comparar os resultados obtidos com os valores limites legais (tabela 5.2). Os valores limites são comparados com os valores médios de TR, obtidos para cada sala, diminuídos de um factor de 25% do limite regulamentar. (Decreto-lei nº 96/2008)

Tabela 5.2 – Comparação dos Tempos de Reverberação calculados com os valores limites regulamentares

Salas	TR - Cálculo Teórico (menos 25%)	TR - Decreto-lei nº 96/2008	Verificação
Refeitório do Crasto	1,29	1,87	Verifica
Restaurante do Crasto	2,37	1,69	Não Verifica
Restaurante do Crasto	2,13	1,23	Não Verifica

O exercício comparativo dos valores obtidos e dos valores limites, demonstra que somente o tempo de reverberação calculado para o Refeitório do Crasto, é inferior ao valor limite regulamentar. Outra constatação é a de que o cálculo para o valor limite apenas contempla o volume da sala, apresentando a sala do refeitório do Crasto um volume superior e daí o valor limite regulamentar ser o maior.

Tal como já foi mencionado anteriormente, o tempo de reverberação está intimamente relacionado com as condições geométricas da sala, nomeadamente com o volume e com as características de absorção sonora dos espaços. Os valores obtidos sugerem algumas dúvidas, relativamente aos valores da área de absorção sonora equivalente, calculados para cada sala, devido à dificuldade de escolha dos coeficientes de absorção dos materiais, apresentada nos Refeitório e Restaurante do Crasto. Deste modo, para confirmar a veracidade dos valores obtidos, recorreu-se à análise das medições *in situ*.

5.2 Análise do tempo de reverberação. Medições *in situ*.

Neste capítulo a análise de resultados incide nas medições efectuadas nos espaços em estudo. São apresentadas duas análises distintas: uma resultante do estudo de cada sala - análise intra-sala - a outra, relativa ao estudo comparativo das salas bem como à sua relação de similitude com os valores limites regulamentares.

5.2.1 Análise intra-salas

Esta secção baseia-se na análise espacial de cada sala, na caracterização da variabilidade dos valores medidos, relativamente aos diferentes pontos de medição realizados, e nos posicionamentos das fontes. Com este exercício analítico averigua-se a homogeneidade do campo sonoro, relativo aos tempos de reverberação.

São ainda apresentados os valores do tempo de reverberação para as diferentes FS (Tabela 5.3, 5.5 e 5.7), de cada sala, bem como o desvio padrão (Tabela 5.4, 5.6 e 5.8) desses mesmos valores.

Através da apresentação gráfica (Figura 5.2 a 5.4), observam-se as variações dos tempos de reverberação para as diferentes posições das fontes sonoras. A análise é feita para a gama de frequências situada no intervalo compreendido entre 125 Hz e 4000 Hz. Expõem-se, igualmente, os valores médios globais dos tempos de reverberação para cada posição da fonte sonora (FS), relativa a cada sala (Tabela 5.9).

Tabela 5.3 – Tempos de Reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Refeitório do Crasto

Refeitório do Crasto - Tempo de Reverberação						
Fontes sonoras	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
FS1	2,99	3,29	3,39	3,07	2,61	2,00
FS2	3,10	3,25	3,35	3,13	2,65	2,00
FS3	3,22	3,33	3,37	3,1	2,6	1,99
FS4	2,99	3,21	3,37	3,14	2,63	2,02

Tabela 5.4 – Valores do desvio padrão para os tempos de reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Refeitório do Crasto

Refeitório do Crasto - Desvio Padrão						
Fontes sonoras	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
FS1	0,07	0,10	0,04	0,03	0,05	0,01
FS2	0,15	0,07	0,07	0,04	0,05	0,03
FS3	0,25	0,24	0,04	0,07	0,03	0,02
FS4	0,15	0,21	0,11	0,06	0,03	0,02

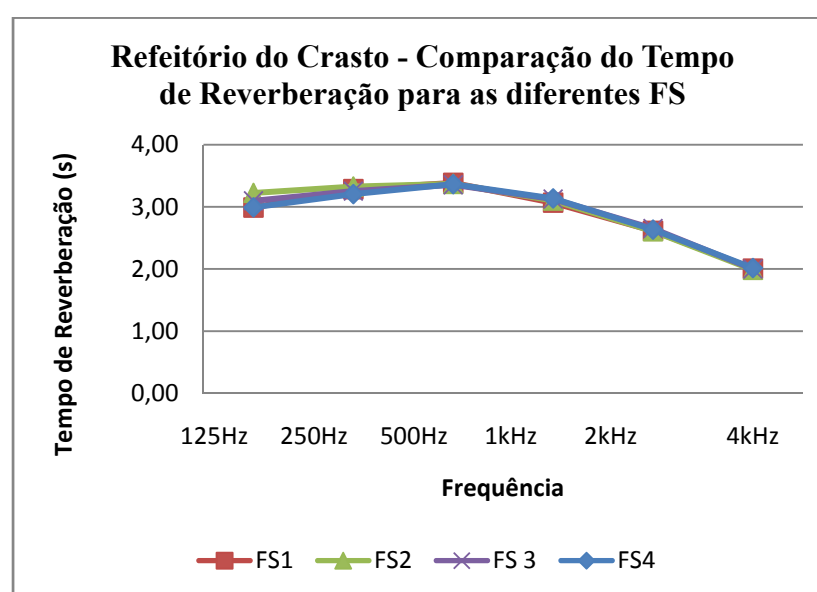


Figura 5.2 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação relativo às diferentes fontes sonoras, no Refeitório do Crasto

O gráfico (Figura 5.2) demonstra que existe apenas uma maior flutuação dos valores dos tempos de reverberação, nas frequências baixas de 125 Hz e 250 Hz. Com vista à obtenção de uma melhor variação dos valores obtidos, recorreu-se à análise do desvio padrão (Tabela 5.4), onde se observa que, no geral, os valores de desvio padrão são inferiores a 0,1 s sendo superiores somente a 0,1 s nas frequências baixas. Contudo não ultrapassam o valor de 0,25s de desvio.

Os valores obtidos do tempo de reverberação para as diferentes fontes sonoras (Tabela 5.9), não apresentam uma variação considerável. Conclui-se, portanto, que existe bastante homogeneidade do campo sonoro estudado.

Tabela 5.5 – Tempos de Reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Refeitório de Santiago

Refeitório de Santiago - Tempo de Reverberação						
Fontes sonoras	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
FS1	3,01	2,83	3,17	2,72	2,56	2,09
FS2	3,11	2,80	3,21	2,95	2,62	2,19
FS3	3,07	2,93	3,23	3,06	2,61	2,19

Tabela 5.6 – Valores do desvio padrão para os tempos de reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Refeitório de Santiago

Refeitório de Santiago - Desvio Padrão						
Fontes sonoras	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
FS1	0,56	0,22	0,08	0,50	0,04	0,07
FS2	0,15	0,05	0,09	0,06	0,04	0,06
FS3	0,10	0,29	0,14	0,14	0,05	0,06

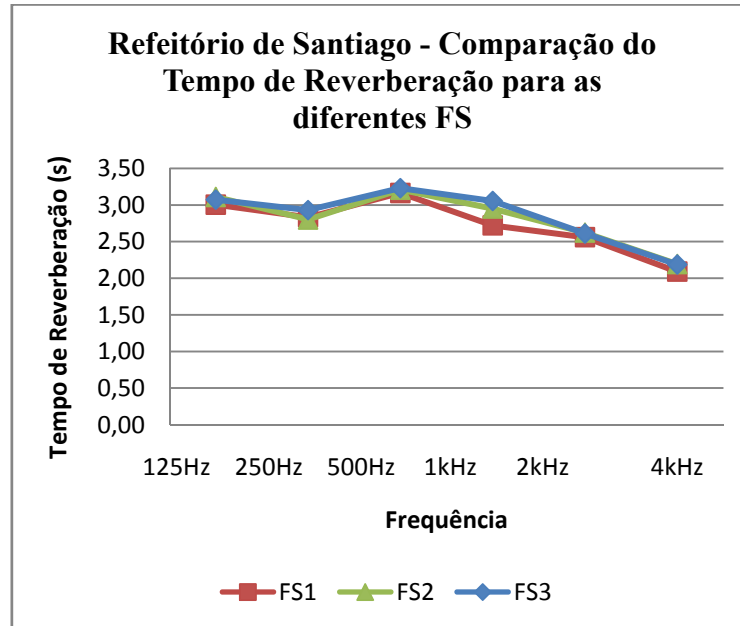


Figura 5.3 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação relativo às diferentes fontes sonoras, no Refeitório de Santiago

A análise do gráfico 5.3, revela flutuações consideráveis para a maior parte das frequências. Observando os valores do desvio padrão (Tabela 5.6), poder-se-á afirmar que as variações de algumas frequências são bastante consideráveis, nomeadamente no que respeita às frequências baixas, para 125 Hz e 250 Hz, bem como, para as médias frequências, de 500 Hz e 1000 Hz. Constata-se, ainda, que existem valores de desvio superiores a 0,25 s. Para a frequência de 125 Hz, os valores do desvio padrão variam de 0,1 s para a FS3; de 0,15 s para FS2 e de 0,56 s para FS1. Já na frequência de 250 Hz, a variação verificada é a seguinte: 0,29 s para a FS3; 0,05 s para FS2 e 0,22 s para FS1. A frequência de 1000 Hz, varia de 0,14 s para a FS3; de 0,06 s para FS2 e de 0,50 s para FS1.

Os valores obtidos no tempo de reverberação, para as diferentes fontes sonoras, (Tabela 5.9), ditam um aumento do valor na FS3 e FS2 em relação à FS1.

Um dos problemas encontrados nesta sala prendeu-se com os valores de ruído de fundo, no momento das medições. A existência de sons, provenientes da cozinha, devido à impossibilidade de desligar todo o equipamento e à existência de um vão, aberto para a cozinha, terão seguramente, produzido e, de certo modo, condicionado, os resultados obtidos, sendo notória, a falta de homogeneidade do campo sonoro neste espaço.

Tabela 5.7 – Tempos de Reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Restaurante do Crasto

Restaurante do Crasto - Tempo de Reverberação						
Fontes sonoras	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
FS1	2,03	3,05	3,22	2,97	2,56	2,11
FS2	2,21	3,03	3,07	2,95	2,56	2,16

Tabela 5.8 – Valores do desvio padrão para os tempos de reverberação relativos às diferentes fontes sonoras no Restaurante do Crasto

Restaurante do Crasto - Desvio Padrão						
Fontes sonoras	Frequência (Hz)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
FS1	0,12	0,12	0,07	0,03	0,05	0,02
FS2	0,14	0,10	0,03	0,05	0,03	0,01

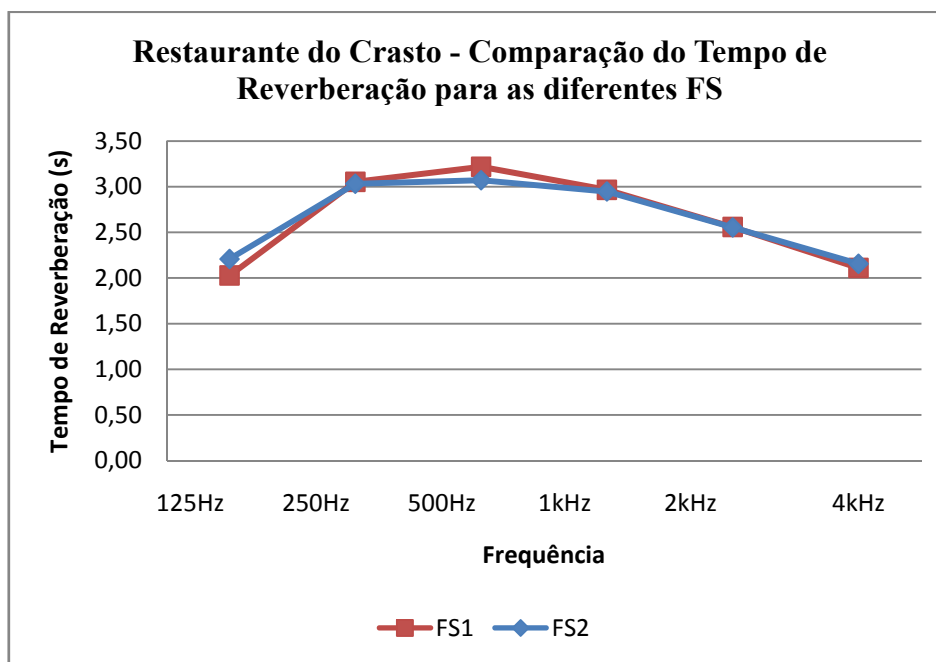


Figura 5.4 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação relativo às diferentes fontes sonoras, no restaurante do Crasto

Na análise ao gráfico (Figura 5.4) observa-se alguma flutuação somente para a frequência de 125 Hz e 500Hz, na comparação entre fontes sonoras. Nos valores do desvio padrão (Tabela 5.8) as variações não são muito significativas, apresentando somente valores acima dos 0,1 s nas baixas frequências. Estes resultados demonstram homogeneidade no campo sonoro.

Tabela 5.9 – Tempos de Reverberação relativos às diferentes fontes sonoras nas salas

TEMPOS DE REVERBERAÇÃO				
Salas	FS1	FS2	FS3	FS4
Refeitório do Crasto	3,02	3,04	3,03	3,05
Refeitório de Santiago	2,82	2,93	2,97	-
Restaurante do Crasto	2,92	2,86	-	-

5.2.2 Análise global entre salas

Neste ponto é apresentada a análise dos valores obtidos nas salas, para as bandas de frequência de 500 Hz a 2000 Hz (Tabela 5.10 a 5.12). A avaliação dos números obtidos é feita através da comparação com os valores limite legais.

Tabela 5.10 – Valores do tempo de reverberação medidos para as frequências de 500Hz a 2000Hz, para o Refeitório do Crasto

REFEITÓRIO DO CRASTO			
Banda de Frequências	500Hz	1000Hz	2000Hz
TR (s)	3,37	3,11	2,63
TR Médio	3,04		

Tabela 5.11 - Valores do tempo de reverberação medidos para as frequências de 500Hz a 2000Hz, para o Refeitório de Santiago

REFEITÓRIO DE SANTIAGO			
Banda de Frequências	500Hz	1000Hz	2000Hz
TR (s)	3,20	2,90	2,60
TR (Médio)	2,90		

Tabela 5.12 - Valores do tempo de reverberação medidos para as frequências de 500Hz a 2000Hz, para o Restaurante do Crasto

RESTAURANTE DO CRASTO			
Banda de Frequências	500Hz	1000Hz	2000Hz
TR (s)	3,22	2,97	2,56
TR Médio	2,91		

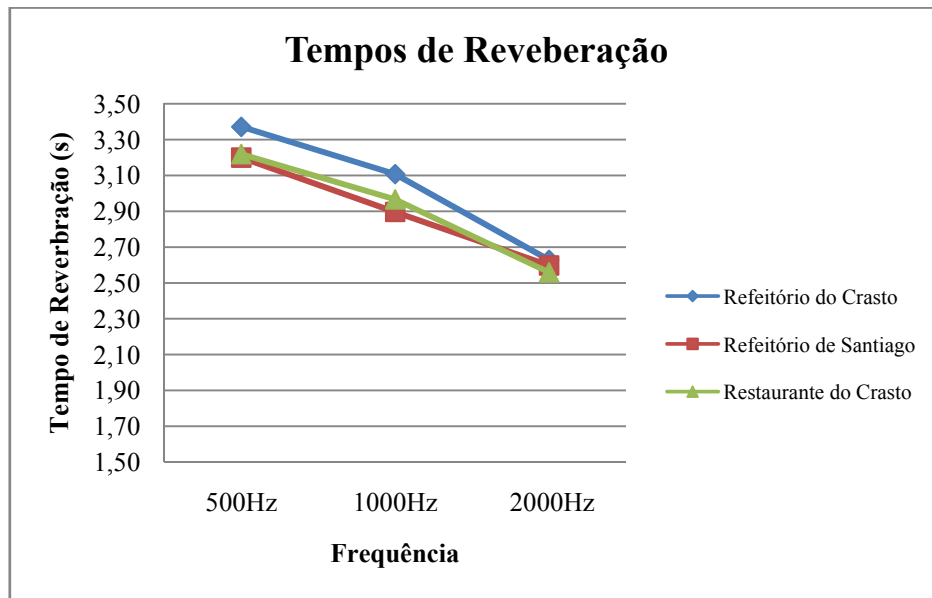


Figura 5.5 – Gráfico comparativo dos tempos de reverberação medidos para as frequências de 500Hz a 2000Hz, das salas

Através das medições efectuadas às salas, obtiveram-se os seguintes valores para tempos de reverberação: 3,04 s para o refeitório do Crasto, 2,90 para o refeitório de Santiago e 2,91 s para o restaurante do Crasto. Analisando o gráfico 5.8, e pelos valores obtidos, observa-se que o refeitório do Crasto apresenta um valor do tempo de reverberação maior, relativamente, às outras salas

Pela observação dos valores adequados para os tempos de reverberação em refeitórios (Figura 2.10), reconhece-se que os valores de cálculo obtidos, são muito superiores aos ideais, que variam entre 0,8 s e 1,2 s.

5.2.3 Comparação dos valores do tempo de reverberação medidos e dos valores limites regulamentares

É apresentada, de seguida, a comparação dos tempos de reverberação obtidos através das medições, com os valores limites regulamentares (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 – Comparação dos Tempos de Reverberação medidos com os valores limites regulamentares

Salas	TR - Medições (menos 25%)	TR - Decreto- lei n° 96/2008	Verificação
Refeitório do Crasto	2,57	1,87	Não Verifica
Refeitório de Santiago	2,47	1,69	Não Verifica
Restaurante do Crasto	2,61	1,23	Não Verifica

Como se verifica (Tabela 5.17), nenhuma das salas cumpre os valores limites exigidos para o tempo de reverberação, ultrapassando até, em muito, esses valores. Assim, torna-se imperativa a necessidade de implementar correcções, com vista à redução dos tempos de reverberação.

Para além destes espaços possuírem grandes volumes são, também, caracterizados por grandes superfícies lisas, com características reflectoras, o que é, claramente, prejudicial para a redução da reverberância. A solução, nestes casos, passa pela aplicação de materiais com características mais absorventes.

5.3 Comparação dos valores do tempo de reverberação medidos e calculados

De seguida podem ler-se os valores comparativos de TR calculados - através da fórmula de previsão - e medidos (Tabela 5.14).

Tabela 5.14 – Comparação entre os valores calculados e medidos, do tempo de reverberação

Salas	TR - Cálculo Teórico	TR - Medições
Refeitório do Crasto	1,76	3,04
Refeitório de Santiago	2,79	2,90
Restaurante do Crasto	2,44	2,91

Na comparação entre os valores calculados, através da aplicação da formula se Sabine e dos valores medidos (Tabela 5.14), observa-se uma grande disparidade. Para o Refeitório do Crasto o tempo de reverberação calculado é de 1,76 s, sendo este muito inferior ao valor obtido através das medições, 3,04 s. No Restaurante do Crasto, 2,44 s foi o valor calculado ao passo que o valor obtido, através das medições, é de 2,91 s, havendo ainda uma significativa diferença entre estes valores. A diferença entre os valores, não é tão significativa para o Refeitório de Santiago, já que entre o valor calculado e o obtido, através de medições, é de 0,11 segundos. Como se pôde constatar, apenas o valor de cálculo para o Refeitório de Santiago é aproxima dos valores medidos.

Pelo ano de construção dos edifícios em que se inserem as salas, denota-se a existência de uma diferença significativa na aplicação dos materiais usados. No Refeitório de Santiago a simplicidade dos materiais usados, vistos como correntes, facilitou a aplicação dos coeficientes de absorção, tornando-se mais fácil durante a pesquisa dos próprios. Nas restantes salas a dificuldade assentou na aplicação adequada dos coeficientes de absorção sonora, o que leva a concluir que esta adequação pode ter gerado significativas diferenças ente os valores dos tempos de reverberação, calculados e medidos.

5.4 Medidas correctivas para os tempos de reverberação

Uma das possíveis soluções, para dar resposta aos elevados valores obtidos, passa pela aplicação de materiais com características mais absorventes, nomeadamente, materiais texturados, membranas ressonantes ou ressoadores de cavidade.

Nos Refeitório e Restaurante do Crasto, uma solução possível a adoptar seria a substituição do tecto falso em gesso cartonado, por uma estrutura de painéis metálicos com material poroso (manta de lã mineral), altamente absorvente.

Por sua vez, no Refeitório de Santiago a aplicação de um tecto falso - considerando a altura do pé direito acessível – revelar-se-ia a solução mais indicada. Sobre esta solução, Domingues considera o seguinte: “A aplicação de um tecto falso formado por painéis metálicos, perfurados com lã mineral, constitui um conjunto que funciona como membrana ressonante (elemento perfurado), absorve energia em baixas frequências e como material texturado (manta de lã mineral), que absorve energia nas altas frequências”. (O. Domingues, 2006). Contudo, a aplicação desta medida deve ser ajustada, com algumas características de aplicação, nomeadamente, com a espessura do material absorvente e da caixa-de-ar pois, quanto maiores, melhor será a absorção.

Para que as melhorias dos tempos de reverberação pudessem ser devidamente testadas, através da implementação de medidas correctivas, recorreu-se, uma vez mais, ao método de cálculo (fórmula de Sabine), não esquecendo que este cálculo apenas contém um valor demonstrativo, devido ao facto de os valores calculados não estarem em concordância com os valores medidos.

A grande alteração, com a aplicação de um tecto suspenso de painéis metálicos, com 25% de área perfurada preenchida com lã de vidro, situa-se, indubitavelmente, nos coeficientes de absorção bastante mais elevados (Tabela 5.15). Deste modo consegue-se uma alteração significativa na área de absorção equivalente e, por consequência, tempos de reverberação bastante mais baixos, comparativamente ao cálculo efectuado antes da aplicação da medida correctiva (Tabela 5.16).

Tabela 5.15 – Coeficientes de absorção, da aplicação da medida correctiva

ELEMENTO	Coeficientes de absorção (α)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Medida correctiva a aplicar: Painéis metálicos com 25% de área perfurada confinando camada de ar preenchida com lã de vidro	0,25	0,4	0,46	0,82	0,88	0,65

Tabela 5.16 – Valores dos tempos de reverberação após aplicação de solução construtiva nas salas

Tempo de Reverberação Após Soluções de Correção							
Refeitório do Crasto	Banda de Frequência	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
	Área de absorção equivalente	200,99	310,56	342,32	567,21	636,73	498,36
	TR (s)	1,53	0,99	0,90	0,54	0,48	0,62
	TR (Médio)	0,84					
Refeitório de Santiago	Área de absorção equivalente	167,97	206,13	216,55	342,76	370,40	272,22
	TR (s)	1,37	1,11	1,06	0,67	0,62	0,84
	TR (Médio)	0,95					
Restaurante do Crasto	Área de absorção equivalente	67,91	97,17	105,60	178,86	200,86	146,52
	TR (s)	1,30	0,91	0,84	0,50	0,44	0,60
	TR (Médio)	0,77					

Com a aplicação das soluções para a correção acústica observou-se que, para o Refeitório do Crasto o TR baixou de 1,72 s para 0,84 s., ao passo que no Refeitório de Santiago o TR a diferença foi de 2,68 s para 0,95 s. No restaurante do Crasto o TR baixou de 2,21 s para 0,77 s, vincando assim o aumento da capacidade de absorção sonora dos materiais, para a redução do TR. Importa referir que a utilização de materiais mais absorventes, em áreas consideráveis, contribui para a significativa diminuição do tempo de reverberação. Seria necessário, contudo, estudar estas soluções mais aprofundadamente para a verificação da sua eficácia, como medida correctiva, relacionando-as com outros parâmetros objectivos (claridade, definição,...), importantes no estudo acústico, e que neste trabalho não foram contemplados.

5.5 Análise do isolamento sonoro

Neste tópico tornou-se objecto de análise a comparação entre os resultados obtidos, e os valores limites regulamentares, presentes no Decreto-Lei 96/2008, nas categorias de isolamento sonoro a sons aéreos, e de percussão entre compartimentos, e isolamento sonoro a sons aéreos de fachada.

5.5.1 Análise do isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão

No estudo do isolamento sonoro a sons de condução aérea e de percussão o objecto de separação é uma laje (Figura 5.6), que serve de elemento divisor entre o Refeitório e o Restaurante do Crasto.

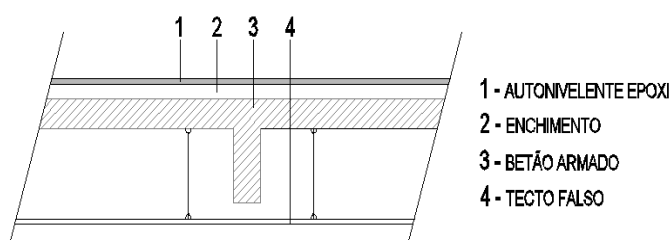


Figura 5.6 – Pormenor da constituição da laje do piso, no refeitório do Crasto.

As medições efectuadas, e partindo da aplicação da equação 4.1, demonstram a obtenção de um valor para o índice de isolamento sonoro, a sons de condução aérea entre compartimentos (D'_{nT}) de 60dB. Como é indicado no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), o valor obtido deve ser acrescido do factor I no valor de 3 dB. Com este acréscimo o resultado final será de 63 dB.

Como se verifica no Decreto-Lei e pelo quadro do anexo II, a que se refere o artigo 7º, nº1, alíneas a), b) e c), não está declarado um valor limite de índice de isolamento acústico entre locais de restauração, como o do caso em estudo. Contudo, e atentando no valor mais elevado, a legislação obriga a que, entre refeitórios e bibliotecas, o valor de $D_{nT,w}$ seja igual ou superior a 58 dB (Decreto-Lei 98/2008). Como o valor obtido é superior ao valor limite regulamentar, poderá concluir-se que relativamente ao isolamento sonoro a sons de condução aérea, este é aceitável.

No índice de isolamento sonoro a sons de percussão padronizado (L'_{nT}), o valor obtido foi de 64 dB. Como descrito no Decreto-Lei, o valor deve ser diminuído do factor I no valor de 3 dB, para assim satisfazer o valor regulamentar. O artigo 7º, nº1, alínea c), do Decreto-Lei 98/2008 prevê que quando o local emissor for um refeitório, o valor de L'_{nT} , deve ser igual ou inferior a 60 dB. Deste modo, se se comparar o valor obtido, observa-se que este é ligeiramente superior ao legislado, concluindo-se que deveriam ser efectuadas algumas correcções, nomeadamente no que respeita ao controlo da transmissão de ruídos de percussão.

Os ruídos de percussão propagam-se por todo o elemento construtivo. Como formas de combater este efeito podem enumerar-se a actuação nos revestimentos das superfícies e na continuidade dos elementos reduzindo, assim, a sua capacidade de propagação.

Existem algumas soluções para o isolamento sonoro a sons de percussão. Uma delas consiste em promover o isolamento à vibração entre a fonte e a estrutura, através da aplicação de uma tela resiliente (figura 5.7) na laje do piso (J. Patrício, 2007).

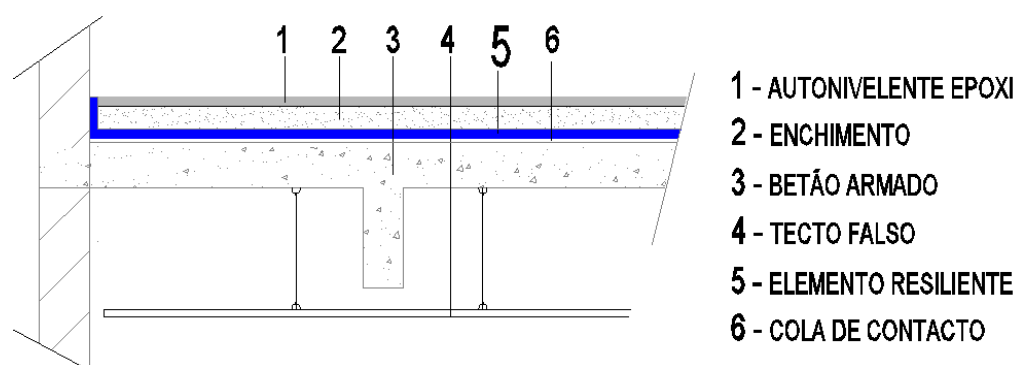


Figura 5.7 – Pormenor da solução a sons de percussão, no Refeitório do Crasto.

5.5.2 Análise do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas

Na análise ao isolamento de sons aéreos de fachadas, foram obtidos valores para a diferença entre o nível médio de pressão sonora, exterior e interior, verificada nas salas em estudo, neste caso no Refeitório do Crasto (figura 5.8) e Restaurante do Crasto (constituição da fachada em envidraçado).

Para o Refeitório obteve-se um resultado de $D_{2m,nT}$, de 36 dB, contudo, este valor foi efectuado em bandas de oitava. Para identificar a diferença que se poderia obter com a utilização de 1/3 de bandas de oitava, foi testado, no Restaurante do Crasto, o

levantamento de medições do tempo de reverberação para as duas gamas de frequência e aplicada a equação 4.2, para obter o resultado de $D_{2m,nT}$ para as duas situações.

Por sua vez, o valor encontrado para o Restaurante foi de 28 dB para terços de oitava. Com um acréscimo de 3 dB obtém-se um resultado de 31dB, passível de comparação com o valor limite regulamentar. Para o cálculo em banda de oitava, o valor obtido foi de 29 dB, verificando-se que existe uma diferença de 1 dB. O artigo 7º, nº1, do Decreto-Lei 98/2008 menciona que o valor de $D_{2m,nT,w}$, deve ser igual ou superior a 28 dB, logo, os valores medidos encontram-se dentro dos limites regulamentares.

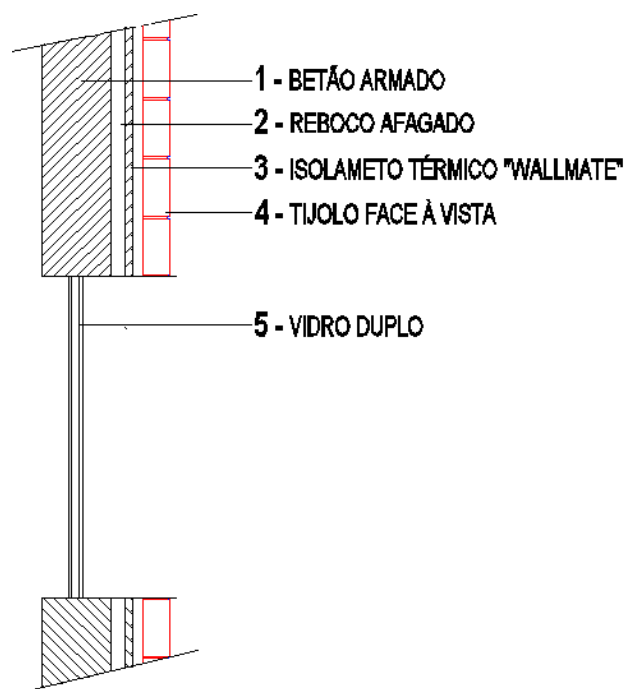


Figura 5.8 – Pormenor da constituição da fachada, no refeitório do Crasto.

5.6 Análise da variação do nível de pressão sonora contínuo equivalente

Através da representação gráfica (Figura 5.9), observou-se a diferença entre a variação do nível de pressão sonora medida, nos Refeitórios do Crasto e de Santiago, relativamente ao horário de funcionamento, no período de almoço.

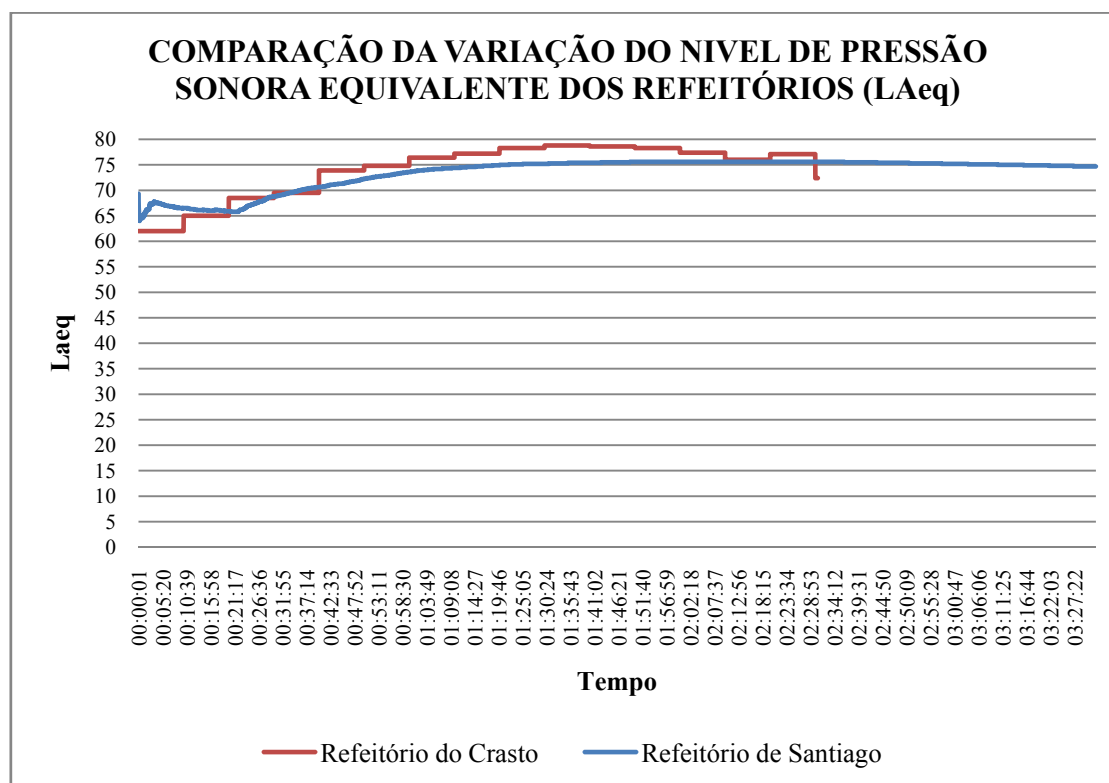


Figura 5.9 – Gráfico representativo da variação do nível de pressão sonora equivalente medido nos refeitórios

Na esquematização gráfica (Figura 5.9) é perceptível que o nível de pressão sonora atinge valores mais elevados no Refeitório do Crasto. No momento das medições, a sala do Refeitório do Crasto albergava 630 pessoas, ao passo que o Refeitório de Santiago, no mesmo período, foi escolhido por 680 utentes (sala contemplada para a medição). Essa diferença é justificada pelo facto de o Refeitório do Santiago, se encontrar estrategicamente localizado, numa zona central do Campus Universitário. Por essa razão, este refeitório acolhe, em média, um milhar de utentes por almoço, mais quatro centenas que o Crasto, geograficamente mais afastado da zona central da Universidade.

Conclui-se que, mesmo recebendo menos pessoas, o refeitório do Crasto produz maior ruído durante o seu funcionamento, o que indica que, o ruído não está somente relacionado com a quantidade de pessoas que frequentam os espaços, mas também com factores que potenciam níveis de maior ruído.

5.7 Análise do Inquérito

Os parâmetros objectivos de avaliação de cada uma das salas de refeição, entenda-se o tempo de reverberação, mostram que os espaços não apresentam as melhores condições acústicas devido, não só, às características físicas, mas também às funcionais.

Contudo, e porque o ruído pode ser considerado um parâmetro de avaliação subjectiva (depende da apreciação e sensibilidade de cada indivíduo), entendeu-se que seria um mais-valia e um complemento interessante ao estudo de caso, associar as opiniões e percepções – de ruído e de incomodidade - dos frequentadores dos espaços.

Apresenta-se, de seguida através, uma representação gráfica, das respostas obtidas no inquérito às questões principais.

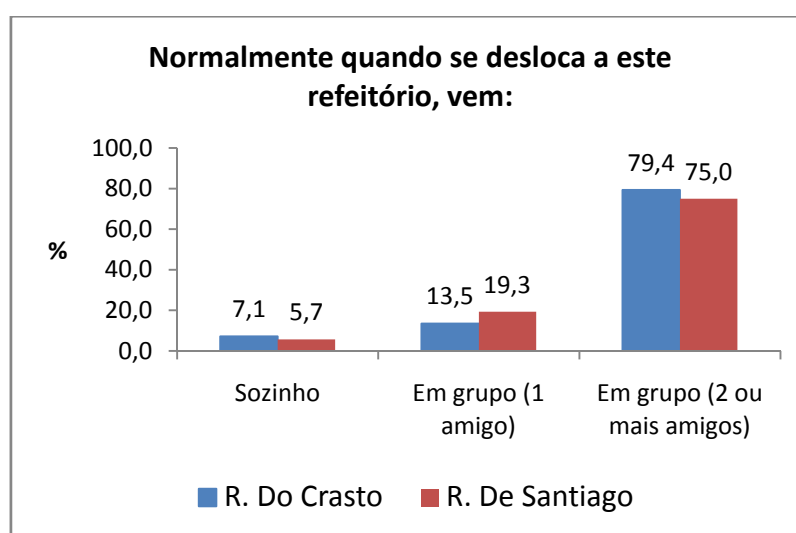


Figura 5.10 – Gráfico representativo das respostas à questão 2 do inquérito

O gráfico (figura 5.10), demonstra que grande parte dos respondentes desloca-se aos refeitórios em grupos de duas ou mais pessoas, o que contribui, em certa medida, para o aumento do ruído da sala e, conseqüentemente, da incomodidade. A percentagem de respondentes que frequenta os refeitórios, a título individual, é diminuta.

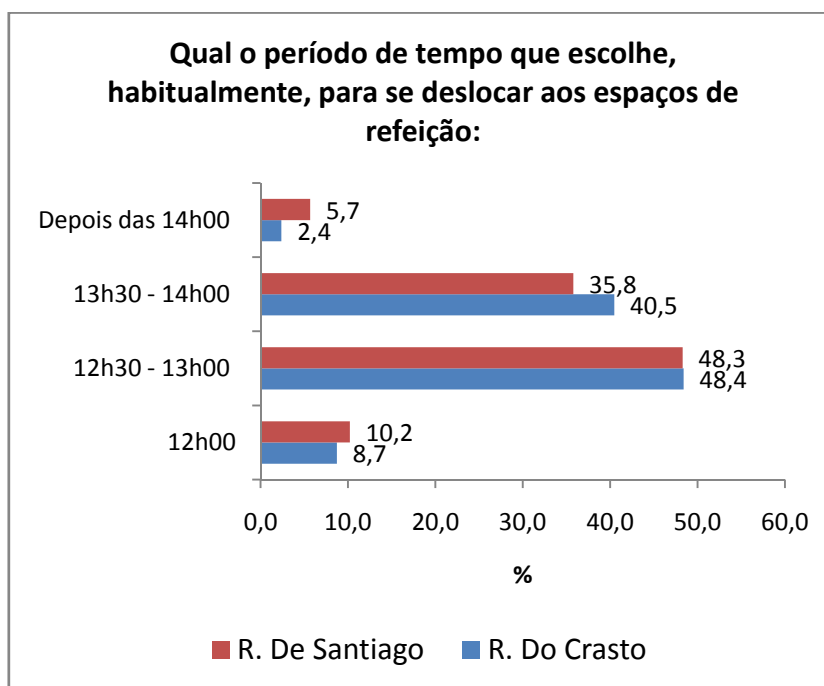


Figura 5.11 – Gráfico representativo das respostas à questão 3 do inquérito

O período de maior afluência regista-se entre as 12h30 e as 14h00, sendo este intervalo coincidente em ambos os refeitórios. Quinze a trinta minutos, é o tempo médio de permanência da maior parte dos frequentadores das salas de refeição. A análise do gráfico seguinte permite, ainda, identificar uma percentagem significativa de utentes que despende 30 a 45 minutos naqueles espaços.

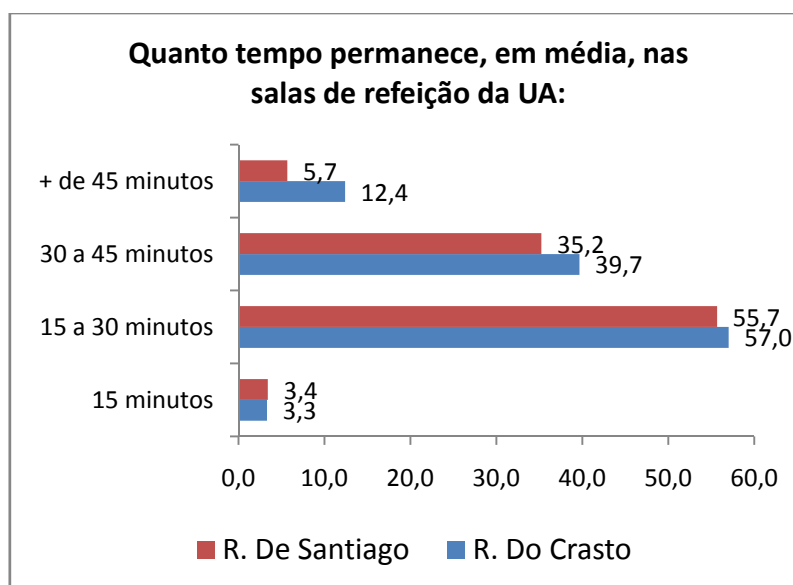


Figura 5.12 – Gráfico representativo das respostas à questão 4 do inquérito

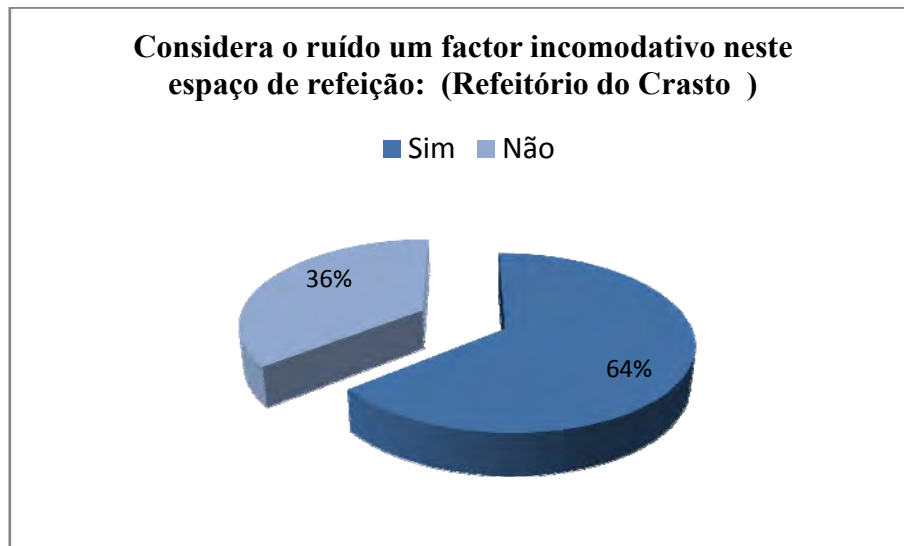


Figura 5.13 – Gráfico representativo das respostas à questão 5 do inquérito – Refeitório do Crasto

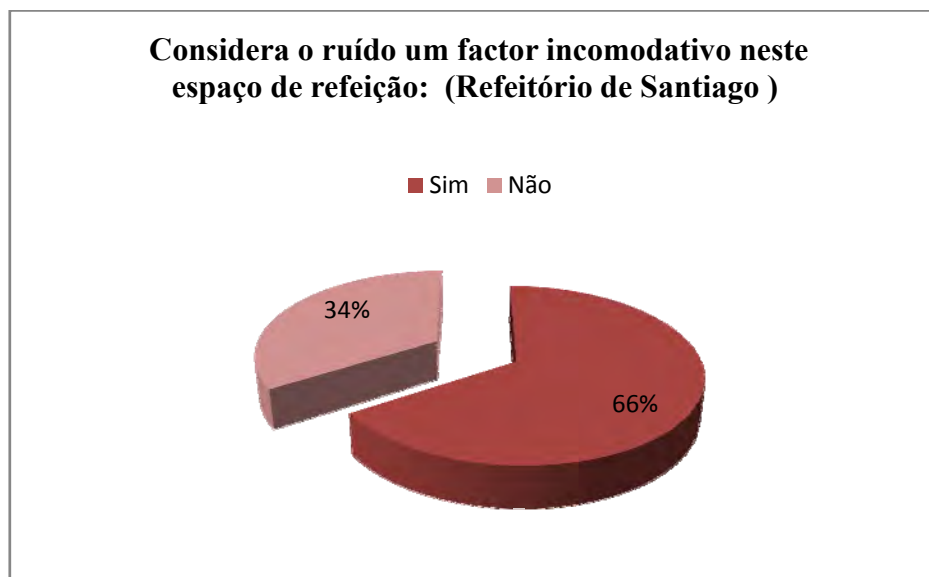


Figura 5.14 – Gráfico representativo das respostas à questão 5 do inquérito – Refeitório de Santiago

À questão relativa à incomodidade provocada pelo ruído nos espaços de refeição, os respondentes mostraram-se coincidentes em cada uma das salas. Como resultado, 64 por cento dos inquiridos que avaliaram o ruído existente no Refeitório do Crasto e 66 por cento dos que responderam ao inquérito relativo ao Refeitório de Santiago consideraram o ruído como um factor agravante na incomodidade nos espaços.

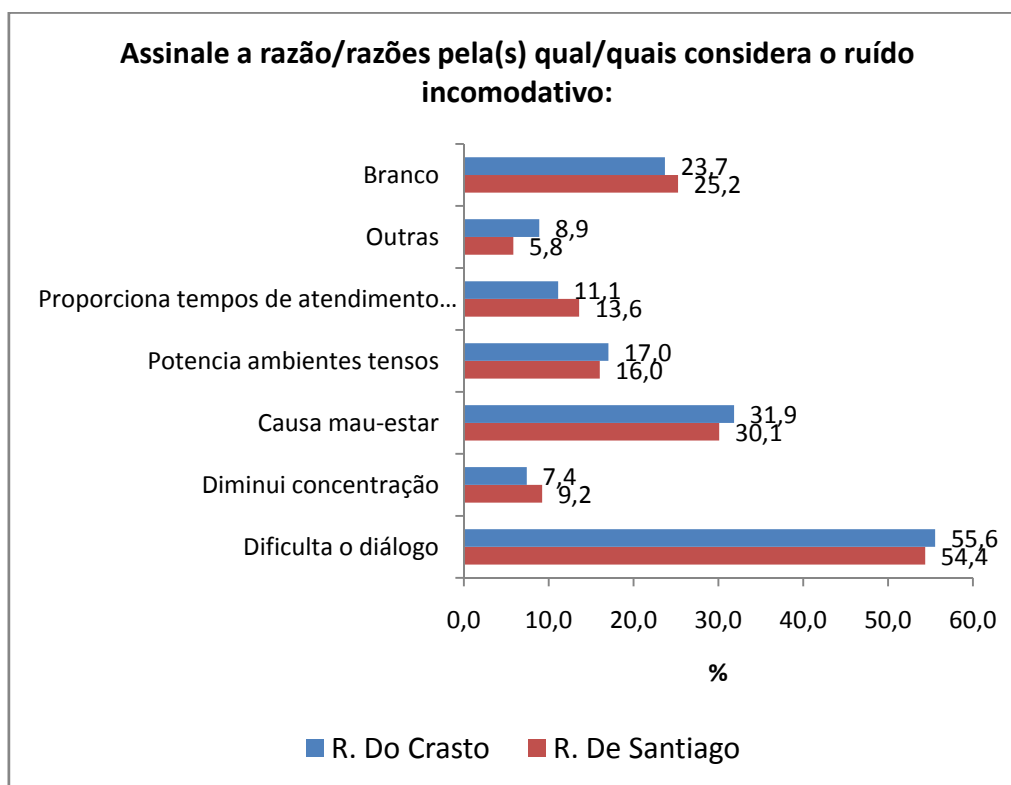


Figura 5.15 – Gráfico representativo das respostas à questão 6 do inquérito

No gráfico (figura 5.15) pode ler-se que a dificuldade em estabelecer um diálogo é a principal causa apontada pelos inquiridos como factor incomodativo. O desenvolvimento de incomodidade, ou mal-estar generalizado, bem como a potenciação de ambientes tensos nas salas de refeição são também referidos como consequências desagradáveis do ruído presente nesses espaços. Nesta questão a opcionalidade da resposta resultou num número de respostas em branco, que se cifrou em 23,7 por cento para o Refeitório do Crasto e em 25,2 por cento para o Refeitório de Santiago.

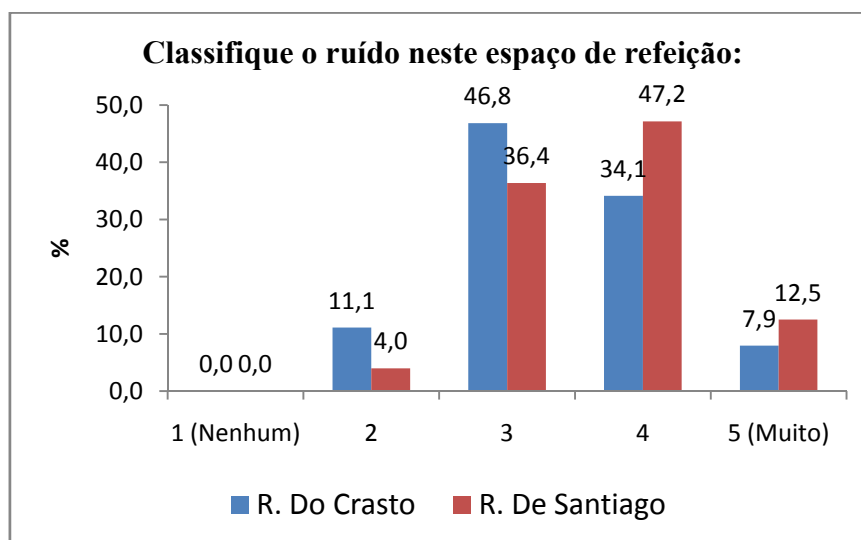


Figura 5.16 – Gráfico representativo das respostas à questão 7 do inquérito

Foi proposto, aos inquiridos, que realizassem uma classificação do ruído nos espaços, considerando uma escala de cinco níveis (1 - nenhum ruído - a 5 - muito ruidoso). Analisando o gráfico (figura 5.16) observa-se que, no geral, os utentes consideram que o nível de ruído presente é significativo. A reflexão sobre os resultados obtidos permite constatar que, para os respondentes, o Refeitório de Santiago apresenta-se como um espaço mais ruidoso do que o Refeitório do Crasto. A concentração de respostas, nos níveis que representam uma maior presença de ruído na sala, é mais significativa no caso do Refeitório de Santiago.

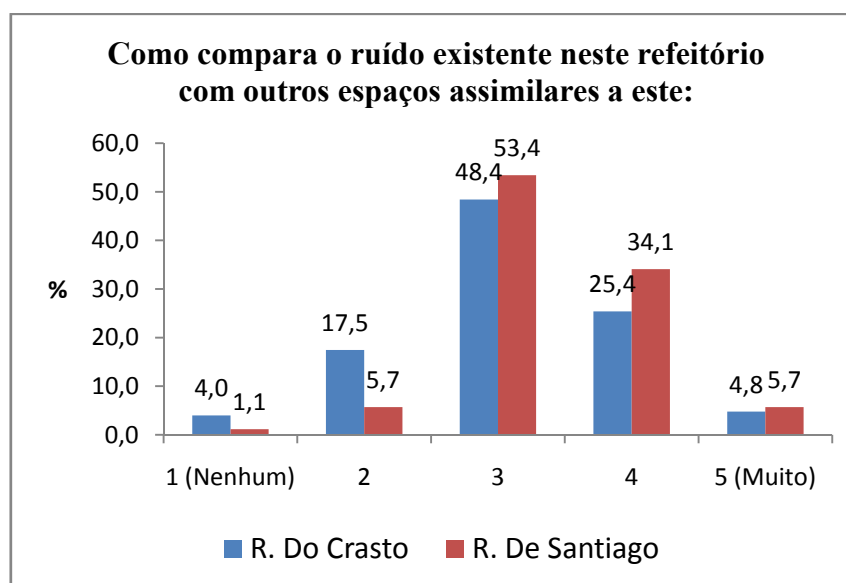


Figura 5.17 – Gráfico representativo das respostas à questão 8 do inquérito

A representação gráfica (figura 5.17) revela que 48,4 por cento dos inquiridos no Refeitório do Crasto, e 53,4 por cento no Refeitório de Santiago, apontam para uma classificação que considera o ruído nestes espaços similar a outros. No entanto, a percentagem de respondentes que classifica estas salas como sendo mais ruidosas do que outras é ainda bastante significativa.

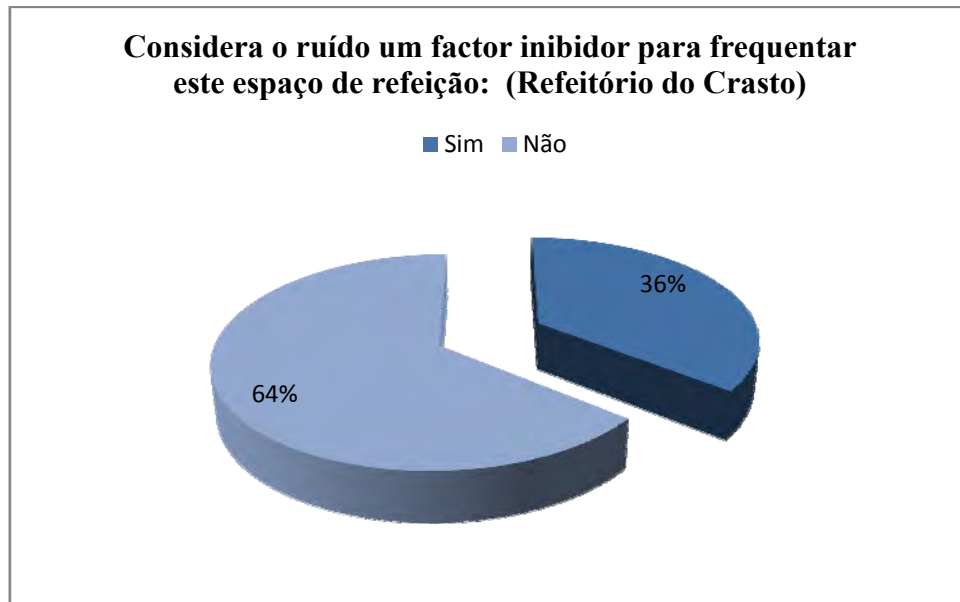


Figura 5.18 – Gráfico representativo das respostas à questão 9 do inquérito

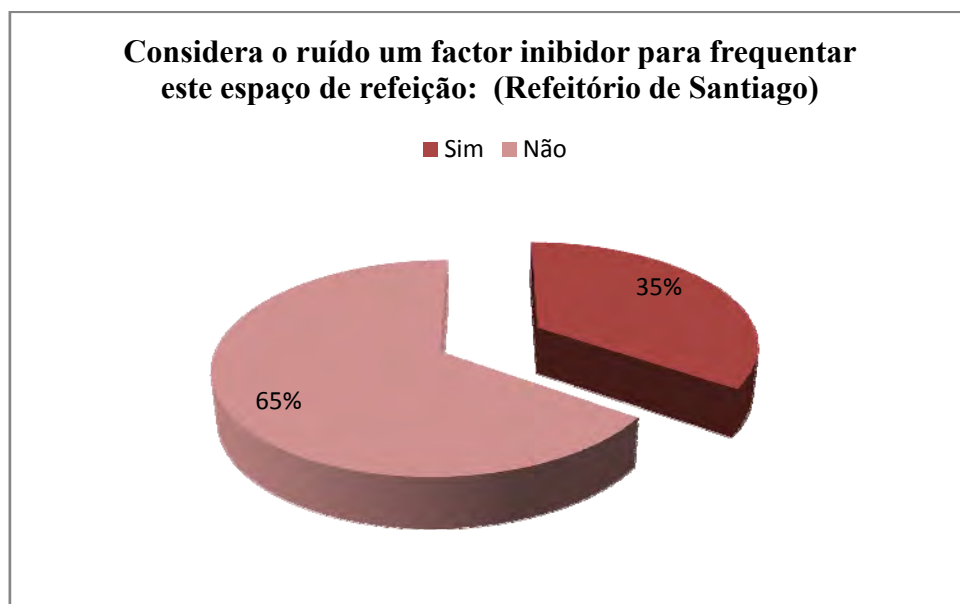


Figura 5.19 – Gráfico representativo das respostas à questão 9 do inquérito

Questionados sobre o facto de o ruído ser um factor determinante para frequentar os espaços de refeição, os inquiridos inclinam as suas opiniões para uma resposta negativa. 64 e 65 por cento dos inquiridos, dos Refeitórios do Crasto e de Santiago respectivamente, (Figura 5.18 e 5.19) consideram que a presença de ruído não é um factor inibidor.

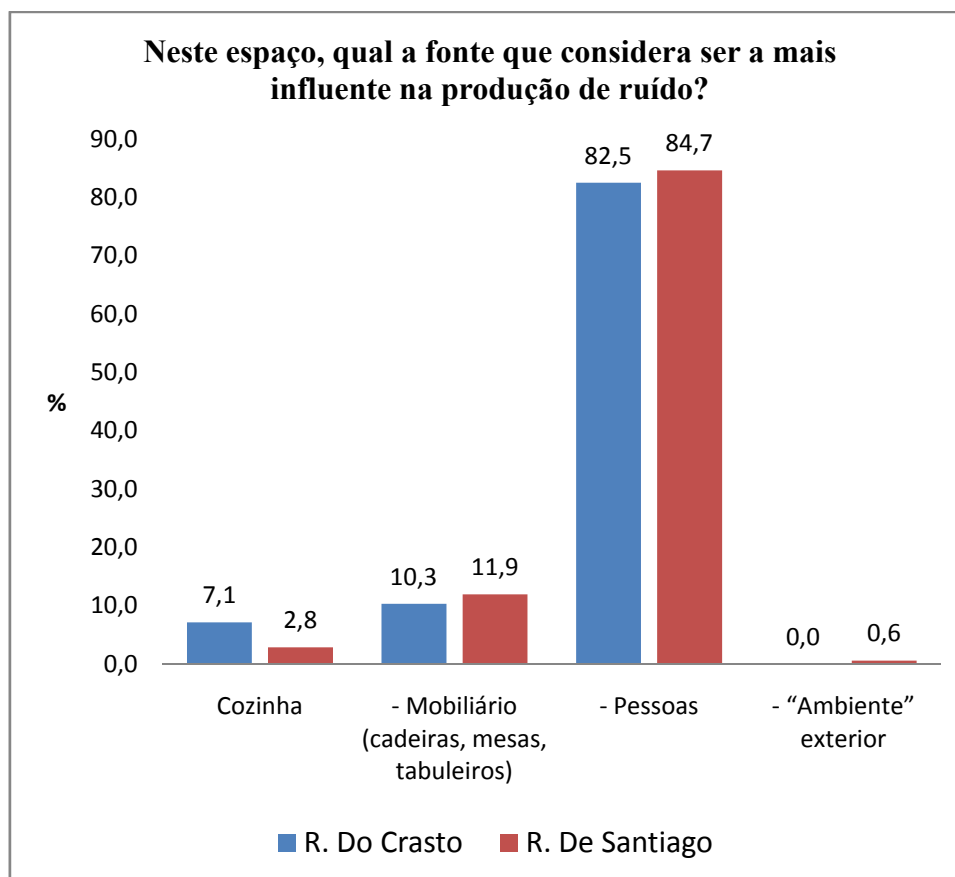


Figura 5.20 – Gráfico representativo das respostas à questão 10 do inquérito

Uma questão importante prende-se com a principal fonte responsável pela produção do ruído existente nas salas. A análise do gráfico (Figura 5.20) demonstra que a grande maioria dos utentes consideraram as pessoas presentes nos espaços de refeição como a principal fonte de ruído.

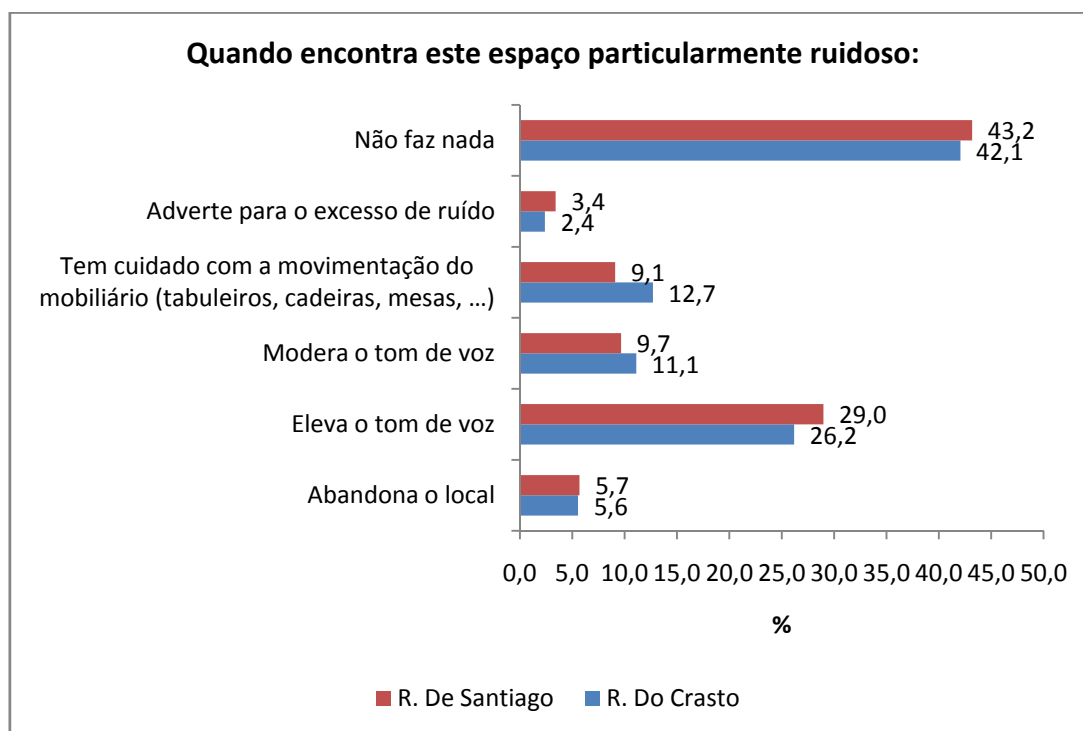


Figura 5.21 – Gráfico representativo das respostas à questão 11 do inquérito

A análise dos resultados revela que a maior parte dos respondentes mostra-se passivo quanto à presença de ruído. É, contudo, importante referir que a atitude de elevar a voz foi escolhida por uma percentagem bastante significativa dos inquiridos - 26,2 e 29,0 por cento para o Refeitório do Crasto e Refeitório de Santiago, respectivamente – o que contribui para um aumento do ruído já presente nos espaços de refeição.

Depois de estudados os resultados do inquérito importa salientar a uniformidade de respostas referentes a cada um dos refeitórios. Poder-se-á afirmar, que estes espaços proporcionam ambientes de convívio, o que gera uma grande diversidade de conversas, como pode ser constatado através da percentagem de inquiridos que se desloca, a estes espaços, em grupo. Este ambiente convivial constitui um factor potenciador de ruído. Constata-se, de igual modo, que o horário de maior afluência aos refeitórios - com a duração total de uma hora e trinta minutos (1h30) - situa-se no intervalo de tempo compreendido entre as 12h30 e as 14h00.

De um modo geral, os inquiridos consideram que o ruído é um factor incomodativo e confirmam a sua presença nestes refeitórios. O ruído dificulta o diálogo entre os utentes,

levando-os, muitas vezes, a elevar a voz para poderem estabelecer conversas perceptíveis, o que contribui para a degradação do conforto e ambiente das salas.

Os respondentes apontam as pessoas e a movimentação de mobiliário como as fontes causadoras do ruído, não havendo quaisquer referências ao ruído exterior.

5.8 Relação entre a análise subjectiva e os parâmetros acústicos

O exercício de análise efectuado aos tempos de reverberação obtidos, através das medições, revela que os seus valores mostraram ser bastante elevados comparativamente aos valores mínimos regulamentares. Por esta razão, a opinião dos inquiridos coincide com os resultados obtidos nos parâmetros acústicos.

A reverberação, em espaços fechados, poderá ser um foco de problemas, na medida em que aumenta os níveis de pressão sonora, em resultado de o som reflectido pelas superfícies, se misturar com o som directo, produzido pelas pessoas e por outras fontes existentes nos espaços. Além disso, afecta a inteligibilidade da palavra e mascara os sons directos, relacionando-se, assim, com a dificuldade de estabelecer diálogo, apontada pelos inquiridos como a principal razão de incómodo.

As medições da variação dos níveis de pressão sonora equivalente demonstram que os momentos em que são atingidos os níveis mais elevados, são os escolhidos pelos utentes para frequentar os espaços.

6. Conclusão

Com a realização destes trabalhos pretendeu-se efectuar uma avaliação das condições acústicas de espaços de restauração, situados na Universidade de Aveiro, a saber: os Refeitórios de Santiago e Crasto e o Restaurante do Crasto.

Estes espaços detêm, por si só, características potenciadores de provocar ambientes ruidosos, tanto pelas suas características geométricas - grandes áreas com alturas consideráveis - bem como pelas questões funcionais que apresentam superfícies dotadas de capacidades reflectoras, que intensificam as reverberações do som.

O tempo de reverberação é uma das características acústicas mais importantes e mais utilizadas na qualificação de um ambiente. O seu valor poderá favorecer ou prejudicar consideravelmente a actividade realizada num espaço. Foi com base nesta premissa que este estudo de caso foi orientado.

Na aplicação do cálculo matemático, através de uma fórmula de previsão, as conclusões retiradas são bastante reveladoras da dificuldade de obtenção dos coeficientes de absorção de determinados materiais ou elementos construtivos, sobretudo nas salas de construção mais recente (Refeitório e Restaurante do Complexo do Crasto). Por consequência, os valores determinados nem sempre foram valores próximos da realidade. Esta questão foi mais notória nos valores de absorção sonora, sobejamente influenciada pelas características intrínsecas e pela textura dos materiais, bem como, pela forma como estes são aplicados. No Refeitório de Santiago a existência de uma aplicação de materiais mais correntes, revelou uma maior facilidade na obtenção dos coeficientes de absorção, levando a resultados mais próximos da realidade.

A variação do nível de pressão sonora equivalente, medida nos refeitórios, em momentos de actividade, revela que a reverberância potenciada pela falta de materiais absorventes na sala do Crasto constitui um potencial factor contributivo para o aumento dos níveis sonoros, dado que os valores máximos atingidos superaram os do Refeitório de Santiago.

O isolamento acústico revela ser um aspecto de grande importância para o conforto acústico dos espaços. Verifica-se a existência de infra-estruturas que, por si só, são já potenciadoras de ruído. Por essa razão é conveniente garantir a existência de um bom isolamento aos ruídos exteriores, bem como garantir que o ruído produzido nos espaços, não se transmita para locais contíguos.

Da avaliação efectuada, no Refeitório do Crasto, concluiu-se que existem alguns índices que extravasam as exigências regulamentares e que, por isso, exigem a implementação de soluções de correcção. O índice de isolamento sonoro a sons de percussão, entre compartimentos é disso exemplo. No capítulo de análise dos resultados foi já apresentada uma possível solução, passando esta pela aplicação de um elemento resiliente.

Relativamente ao isolamento de fachadas, os valores obtidos, para o Restaurante do Crasto, foram considerados aceitáveis. Apontam-se, contudo, alguns erros de construção, como é o caso da falta de isolante nas juntas entre os envidraçados que constituem as fachadas. No momento das medições foi perceptível o aumento do ruído na sala, como resultado destes pequenos erros construtivos.

No Refeitório do Crasto os problemas encontrados, aquando das medições, concentram-se, fundamentalmente, na existência de algumas janelas abertas, impossíveis de fechar, devido a avaria. Este facto poderá ter conduzido a um desvio dos valores reais. Todavia, conclui-se que os valores são bastante aceitáveis e sustentam a tese de que a localização geográfica deste edifício se revela bastante favorável, dado o afastamento de grandes fontes de ruído.

Os resultados do inquérito demonstram que os respondentes possuem uma percepção de que os espaços são realmente ruidosos e que potenciam uma certa incomodidade. Esta descrição vai de encontro às conclusões retiradas da avaliação do parâmetro objectivo, que revela não serem cumpridos os requisitos exigidos por lei.

Os resultados obtidos neste estudo permitem aferir que os espaços são, por si só, potenciadores de ambientes ruidosos, havendo a necessidade de adaptar as características das salas, às formas de estar e de abordagem, apontadas pelos utilizadores.

É importante referenciar o peso que as características arquitectónicas têm na influência da acústica de salas. É necessário pensar e estudar a acústica como uma área de estudos especializada, desde o início de um projecto até à sua reabilitação, procurando as causas do ruído, e solucioná-las, de modo a dotar as salas de características adequadas à utilização dos espaços.

Como é sabido, o ruído afecta já uma grande percentagem de pessoas que estão continuamente expostas a sons abruptos. Por essa razão, torna-se imperativo adoptar medidas e proporcionar ambientes agradáveis a todos os utilizadores dos espaços de refeição.

Trabalhos futuros

Para se efectuarem estudos mais precisos sobre as medidas correctivas apresentadas, ou similares, convém recorrer à modelação, uma ferramenta que se tem revelado essencial na comparação de diversas soluções construtivas, bem como, na obtenção de diversos parâmetros objectivos. Para estudos futuros, defende-se a integração de *softwares* de modelação.

Para além de haver um interesse acrescido no estudo de medidas correctivas para as salas já caracterizadas, entende-se que o exercício deveria ser alargado a outros espaços de restauração da Universidade de Aveiro, como é o caso do Snack-Bar/ Self-service – situado junto a uma rodovia com significativo volume de tráfego – e do Refeitório da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda. Dando continuidade aos estudos acústicos apresentados não seria de descartar a hipótese de serem integradas as salas de aulas dos diferentes Departamentos, constitutivos da academia.

Pelas dificuldades encontradas neste trabalho, mais concretamente na obtenção de coeficientes de absorção sonora de diversos materiais aplicados actualmente, coloca-se a tónica na necessidade de ser disponibilizada a informação relativa aos materiais utilizados, para que os cálculos, e respectivos valores (sobretudo que respeita aos coeficientes de absorção sonora), possam ser obtidos com o rigor e fiabilidade requeridos.

Referências bibliográficas

Aquino C. M.; *Caracterização Acústica de Salas de Audiência de Tribunais*; Tese de Mestrado Universidade do Porto - FEUP, 2003.

Beranek, L. L.; *Music, Acoustics, and Architecture*. New York, John Wiley and Sons, 1962.

Bragança, L.; Patrício, J.; *Case Study: Comparison between the Acoustic Performance of a Mixed Building Technology Building and a Conventional Building*, Building Acoustics, Volume 11, Number 1, 79 – 90, 2004.

Carvalho, A. P. O.; *Acústica Ambiental e de Edifícios*; Universidade do Porto - FEUP, 2004.

CEN, ISO 3382; Second edition, *Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters*, 1997.

Christie, L.; Bell-Booth, J.; *Acoustics in the Hospitality Industry: A Subjective and Objective Analysis*, Vitoria University of Wellington, 2004.

Congzhe, Z.; Yue, Z.; *A Generalized Ray-Tracing Algorithm For Integrated Visual And Auditory Rendering In Room Acoustics*, Civil Engineering and Environmental Systems, 19-34, 2001.

Dühring, M. B; Jensen, J. S.; Sigmund, O.; *Acoustic Design by Topology Optimization*, Journal of Sound and Vibration, 557–575, 2008.

Elliot S.J.; Nelson, P.A.; *The active control of sound*, Electronics & Communication Engineering Journal 2, 127–136, 1990.

Figueiredo, F. L.; Iazzetta, F. ; *Parâmetros Acústicos em Salas de Música: análise de resultados e novas interpretações*, 4º Congresso da AES Brasil (2006);

Figueiredo, F. L.; *Parâmetros acústicos subjetivos: critérios de avaliação da qualidade acústica de salas de aulas*, Universidade de São Paulo 2005.

Iazzetta, F.; Figueiredo, F. L.; Masiero B. S. ; *Parâmetros Subjetivos em Salas Destinadas à Prática Musica*, Acústica 2004, Guimarães, 2004.

IPQ, NP EN ISO 140-4; *Parte 4: Medição in situ, do isolamento sonoro a sons aéreos de entre compartimentos*, 2000.

IPQ, NP EN ISO 140-5; *Parte 5: medição in situ, do isolamento sonoro a sons aéreos de fachada e de elementos de fachada*, 2000.

IPQ, NP EN ISO 140-7; *Parte 7: Medição in situ, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão*, 1998.

Jeon, J.Y.; Ryu, J.K.; Kim, Y.H.; Sato, S.; *Influence of absorption properties of materials on the accuracy of simulated acoustical measures in 1:10 scale model test*, Applied Acoustic, 2008.

Kuttruff H.; *Room Acoustics*, 4ª edição, Spon Press, Taylor & Francis Group, 0-419, 2000.

Leão, A. J. De Almeida; *Acústica de Edifícios. Recomendações Técnico-Práticas para a Conceção de Edifícios Escolares e de Habitação*, Tese de Mestrado Universidade do Porto FEUP, 1994.

Lopez, M.; *Acústica Arquitectónica Aplicada*, Editorial Paraninfo , 1999.

Masiero, B. S.; Iazzetta, F. ; *Estudo e Implementação de Métodos de Métodos de Medição de Resposta Impulsiva* 2004.

Meyer, E.; *Definition and diffusion in rooms*, J. Acoust. Soc. Am., Vol 26, 630-636, 1954.

Patraquim, R.; Luz, P.; Patrício, J. : *A Utilização da Madeira no Condicionamento Acústico*, 37ª Tecniacústic, Gandía – Espanha, 2006.

Patrício, J.; *Acústica nos Edifício* ,ed. Verlag Dashofer, 4ª edição, 2007.

Patrício, J.; Patraquim, R.; *Avaliação Experimental da Absorção Sonora em Painéis de Madeira*, VI Congresso Ibero-americano de Acústica, 2008.

Patrício, J.; *Isolamento Sonoro a Sons Aéreos e de Percussão: Metodologias de Caracterização*, Informação Técnica de Edifícios, ITE 45, LNEC, Lisboa, 1999.

Republica Portuguesa, *Decreto de Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho*, 2008.

Rindel, J.; *Acoustical Comfort as a Design Criterion for Dwellings in the Future*, 16th Biennial Conference of the New Zealand Acoustical Society; Sound in the Built Environment, 1-9, 2004.

Sabine, W. C.; *Reverberation*, Collected papers on acoustics, Cambridge MA, Harvard UP, rpt. Dover, 1964.

Silva, P. Martins da; *Acústica em Edifícios*, Informação Técnica - Edifício 8, LNEC, Lisboa, 1978.

Tadeu, A.; Mateus, D.; *Sebenta de Comportamento Acústico de Edifícios*, Laboratório de Construções, DEC-FCTUC, 2001.

Villarroig, G. R.; Diez, J.; *Introducción a la Acústica Arquitectónica. Fundamentos Físicos. Acondicionamiento. Aislamiento*, Tectónica 14 Acústica, 4-27, 2006.

Sítios pesquisados:

Acoustical Society of America, Technical Committee on Architectural Acoustics; *Classroom Acoustics*, 2000; Consultado em 25 de Janeiro de 2009; Disponível em <http://www.nonoise.org/quietnet/qc/booklet.htm>.

Acoustic.com, Restaurant Noise; *The Impact of Noise & Acoustics on Restaurants, Bars & Nightclubs*; Consultado em 21 Outubro de 2008; Disponível em: http://www.restaurantnoise.com/restaurant_article.html.

Cesva, Instruments, SL; Consultado em 20 de Abril de 2009; Disponível em: <http://www.cesva.com>.

Denicoló, G.; *Reverberação*, 2007; Consultado em 21 de Novembro de 2008; Disponível em: www.eletrica.ufpr.br/.

IPB - Física dos Edifícios, Consultado em 21 de Novembro de 2008; Disponível em: <http://www.estig.ipbeja.pt>.

Gamelas, C.; *Manual de Acústica*, Imperialum; Disponível em 26 Outubro de 2008; Disponível em: <http://www.imperialum.com>.

Gonçalves, R.; *Algumas noções de acústica*, Timber Acoustic, 2007; Consultado em 15 Outubro de 2008; Disponível em: <http://www.timberacoustic.com>.

Netwell Noise Control; *Reducing Crowd Noise in Restaurant*, 2007; Consultado em 15 Outubro de 2008; Disponível em: <http://www.esoundproof.com/blog/2007/07/reducing-crowd-noise-in-restaurant.html>.

Universidade de Aveiro; Mapa do Campus; consultado em 6 de Fevereiro de 2009; disponível em: <http://www.ua.pt/>.

Anexo A

Ficha de resultados das medições ao isolamento sonoro

Ficha de resultado da medição do Isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos, relativo ao pavimento do Refeitório do Crasto.

Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado 'In situ', de acordo com o Decreto Lei Nº96/2008 (09/07/2008) Medição 'In situ' do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos																																													
Cliente : - Descrição do compartimento de medição : Local Emissor - Cantina do crasto Local Receptor - Restaurante do crasto To: 0.50 s Volume do compartimento emissor : 1955.00 m³ Volume do compartimento receptor : 618.00 m³	Data do teste : quarta-feira, 25 de Março de 2009																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">Frequência f Hz</th> <th style="padding: 5px;">DnI (1/3 de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>50</td><td>--</td></tr> <tr><td>63</td><td>--</td></tr> <tr><td>80</td><td>--</td></tr> <tr><td>100</td><td>56.8</td></tr> <tr><td>125</td><td>54.8</td></tr> <tr><td>160</td><td>55.8</td></tr> <tr><td>200</td><td>54.8</td></tr> <tr><td>250</td><td>55.1</td></tr> <tr><td>315</td><td>55.7</td></tr> <tr><td>400</td><td>56.7</td></tr> <tr><td>500</td><td>57.8</td></tr> <tr><td>630</td><td>58.5</td></tr> <tr><td>800</td><td>60.5 *</td></tr> <tr><td>1000</td><td>58.7 *</td></tr> <tr><td>1250</td><td>59.2 *</td></tr> <tr><td>1600</td><td>60.9</td></tr> <tr><td>2000</td><td>61.8 *</td></tr> <tr><td>2500</td><td>62.7 *</td></tr> <tr><td>3150</td><td>63.8</td></tr> <tr><td>4000</td><td>--</td></tr> <tr><td>5000</td><td>--</td></tr> </tbody> </table>	Frequência f Hz	DnI (1/3 de oitava) dB	50	--	63	--	80	--	100	56.8	125	54.8	160	55.8	200	54.8	250	55.1	315	55.7	400	56.7	500	57.8	630	58.5	800	60.5 *	1000	58.7 *	1250	59.2 *	1600	60.9	2000	61.8 *	2500	62.7 *	3150	63.8	4000	--	5000	--	<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: 0.8em;"> <div> <p>— Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, DnT</p> <p>--- Gama de frequências de acordo com a norma ISO 717-1</p> <p>— Curva de referência, de acordo com a Norma ISO 717-1</p> <p>--- Curva de referência deslocada, de acordo com a norma ISO 717-1</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>solamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, DnT, dB →</p> </div> </div> <p style="text-align: right; font-size: 0.8em;">Frequência, f, Hz →</p>
Frequência f Hz	DnI (1/3 de oitava) dB																																												
50	--																																												
63	--																																												
80	--																																												
100	56.8																																												
125	54.8																																												
160	55.8																																												
200	54.8																																												
250	55.1																																												
315	55.7																																												
400	56.7																																												
500	57.8																																												
630	58.5																																												
800	60.5 *																																												
1000	58.7 *																																												
1250	59.2 *																																												
1600	60.9																																												
2000	61.8 *																																												
2500	62.7 *																																												
3150	63.8																																												
4000	--																																												
5000	--																																												
<p>* Correção máxima do ruído de fundo</p> <p>Avaliação de acordo com a Norma ISO 717-1</p> <p>$DnI_{w(C, Ctr)} = 60 (0, -1) \text{ dB}$, $DnI_{w+1} = 60 + 3 = 63 \text{ dB}$</p> <p>Avaliação baseada em resultados medidos In situ, obtidos por meio de um método de engenharia (1/3 de oitava)</p>																																													
Nº do Relatório : - Data : quarta-feira, 20 de Maio de 2009	Nome da empresa de medição : CERTIFER LDA Assinatura :																																												

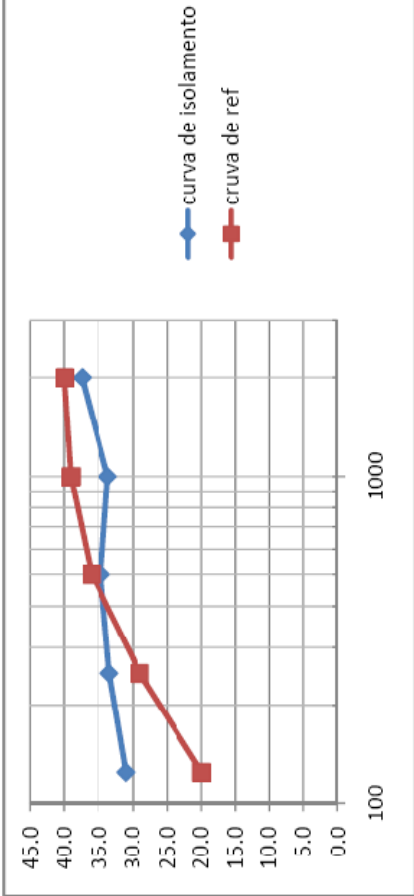
**Ficha de resultado da medição do Isolamento sonoro a sons de percussão,
relativo ao pavimento do Refeitório do Crasto.**

Nível sonoro de percussão padronizado 'In situ' de acordo com o Decreto Lei N° 96/2008 (09/06/2008) Medição do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão																																													
<p>Cliente : -</p> <p>Descrição do compartimento de medição : Local Emissor - Cantina do crasto Local Receptor - Restaurante do crasto</p>	<p align="right">Data do teste : quarta-feira, 25 de Março de 2009</p>																																												
<p>To: 0.50 s Volume do compartimento receptor : 618.00 m³</p>																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 5px;">Frequência f Hz</th> <th style="padding: 5px;">L'nT (1/3 de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>50</td><td>--</td></tr> <tr><td>63</td><td>--</td></tr> <tr><td>80</td><td>--</td></tr> <tr><td>100</td><td>36.1 *</td></tr> <tr><td>125</td><td>40.2</td></tr> <tr><td>160</td><td>40.1</td></tr> <tr><td>200</td><td>40.9</td></tr> <tr><td>250</td><td>41.5</td></tr> <tr><td>315</td><td>45.1</td></tr> <tr><td>400</td><td>48.3</td></tr> <tr><td>500</td><td>45.1</td></tr> <tr><td>630</td><td>47.4</td></tr> <tr><td>800</td><td>52.2</td></tr> <tr><td>1000</td><td>57.1</td></tr> <tr><td>1250</td><td>57.9</td></tr> <tr><td>1600</td><td>57.3</td></tr> <tr><td>2000</td><td>60.3</td></tr> <tr><td>2500</td><td>58.3</td></tr> <tr><td>3150</td><td>57.8</td></tr> <tr><td>4000</td><td>--</td></tr> <tr><td>5000</td><td>--</td></tr> </tbody> </table>	Frequência f Hz	L'nT (1/3 de oitava) dB	50	--	63	--	80	--	100	36.1 *	125	40.2	160	40.1	200	40.9	250	41.5	315	45.1	400	48.3	500	45.1	630	47.4	800	52.2	1000	57.1	1250	57.9	1600	57.3	2000	60.3	2500	58.3	3150	57.8	4000	--	5000	--	<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: 0.8em;"> <div> <p>— Nivel sonoro de percussão padronizado, L'nT</p> <p>- - - Gama de frequências de acordo com a norma ISO 717-2</p> <p>— Curva de referência, de acordo com a Norma ISO 717-2</p> <p>- - - Curva de referência deslocada, de acordo com a norma ISO 717-2</p> </div> <div> </div> </div>
Frequência f Hz	L'nT (1/3 de oitava) dB																																												
50	--																																												
63	--																																												
80	--																																												
100	36.1 *																																												
125	40.2																																												
160	40.1																																												
200	40.9																																												
250	41.5																																												
315	45.1																																												
400	48.3																																												
500	45.1																																												
630	47.4																																												
800	52.2																																												
1000	57.1																																												
1250	57.9																																												
1600	57.3																																												
2000	60.3																																												
2500	58.3																																												
3150	57.8																																												
4000	--																																												
5000	--																																												
<p>* Correção máxima do ruído de fundo</p> <p>Avaliação de acordo com a Norma ISO 717-2</p> <p align="center">L'nT,w(Ci) = 64 (-13) dB; L'nT,w - 1 = 64 - 3 = 61 dB;</p> <p>Avaliação baseada em resultados medidos por meio de um método de engenharia (1/3 de oitava)</p>																																													
<p>Nº do Relatório : -</p> <p>Data :</p>	<p>Nome da empresa de medição : CERTIFER LDA</p> <p>Assinatura :</p>																																												

Ficha de resultado da medição do Isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizada da fachada de fachada, relativo ao Refeitório do Crasto

Isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizada da fachada

Frequência f Hz	Dn,2m,n (1/3 de oitavas)	Diferenças
		20
125	31.1	20
250	33.5	29
500	34.7	36
1000	33.7	39
2000	37.4	40
		<10 dB
		9.2



Avaliação de acordo com a Norma ISO 717-1

D2m,nT,w	36
D2m,n,w + l	39
Ctr	-
D2m,n,w+l+Ctr	39

Volume Receptor	1922.8 m³
Area Fachada	- m²
Area Translucida	- m²

Ficha de resultado da medição do Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado da fachada 'In situ' relativo ao Restaurante do Crasto

Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado da fachada 'In situ' Decreto Lei N°96/2008 (09/06/2008)																																													
<p>Cliente : -</p> <p>Descrição do compartimento de medição : Local Emissor - Exterior Local Receptor - Restaurante</p> <p>Área da amostra : 38.85 m²</p> <p>To: 1.30 s</p> <p>Volume do compartimento receptor : 618.00 m³</p>	<p>Data do teste : sexta-feira, 8 de Maio de 2009</p>																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">Frequência f Hz</th> <th style="padding: 2px;">Dls,2m,nT (1/3 de oitava) dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>50</td><td>--</td></tr> <tr><td>63</td><td>--</td></tr> <tr><td>80</td><td>--</td></tr> <tr><td>100</td><td>29.4</td></tr> <tr><td>125</td><td>23.1</td></tr> <tr><td>160</td><td>26.0</td></tr> <tr><td>200</td><td>27.6</td></tr> <tr><td>250</td><td>27.1</td></tr> <tr><td>315</td><td>27.2</td></tr> <tr><td>400</td><td>29.9</td></tr> <tr><td>500</td><td>30.6</td></tr> <tr><td>630</td><td>29.6</td></tr> <tr><td>800</td><td>28.7</td></tr> <tr><td>1000</td><td>27.5</td></tr> <tr><td>1250</td><td>28.9</td></tr> <tr><td>1600</td><td>30.2</td></tr> <tr><td>2000</td><td>28.9</td></tr> <tr><td>2500</td><td>25.0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>26.5</td></tr> <tr><td>4000</td><td>--</td></tr> <tr><td>5000</td><td>--</td></tr> </tbody> </table>	Frequência f Hz	Dls,2m,nT (1/3 de oitava) dB	50	--	63	--	80	--	100	29.4	125	23.1	160	26.0	200	27.6	250	27.1	315	27.2	400	29.9	500	30.6	630	29.6	800	28.7	1000	27.5	1250	28.9	1600	30.2	2000	28.9	2500	25.0	3150	26.5	4000	--	5000	--	<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: 0.8em;"> <div> <p>— Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, Dls,2m,nT</p> <p>- - - Gama de frequências de acordo com a norma ISO 717-1</p> <p>— Curva de referência, de acordo com a Norma ISO 717-1</p> <p>- - - Curva de referência deslocada, de acordo com a norma ISO 717-1</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, Dls,2m,nT, dB →</p> </div> </div> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">Frequência, f, Hz →</p>
Frequência f Hz	Dls,2m,nT (1/3 de oitava) dB																																												
50	--																																												
63	--																																												
80	--																																												
100	29.4																																												
125	23.1																																												
160	26.0																																												
200	27.6																																												
250	27.1																																												
315	27.2																																												
400	29.9																																												
500	30.6																																												
630	29.6																																												
800	28.7																																												
1000	27.5																																												
1250	28.9																																												
1600	30.2																																												
2000	28.9																																												
2500	25.0																																												
3150	26.5																																												
4000	--																																												
5000	--																																												
<p>Avaliação de acordo com a Norma ISO 717-1</p> <p style="text-align: center;">Dls,2m,nT,w(C;Ctr) = 28 (0 ; 0) dB; Dls,2m,nT,w(C;Ctr) + I = 28 (0 ; 0) + 3 = 31 (0 ; 0) dB;</p> <p>Avaliação baseada em resultados medidos In situ, obtidos por meio de um método de engenharia (1/3 de oitava)</p>																																													
<p>Nº do Relatório : -</p> <p>Data : segunda-feira, 18 de Maio de 2009</p>	<p>Nome da empresa de medição : CERTIFER LDA</p> <p>Assinatura :</p>																																												

Anexo B

Inquérito relativo ao ambiente acústico nos refeitórios

INQUÉRITO - RUÍDO NOS REFEITÓRIOS

Este inquérito é elaborado no âmbito da disciplina Dissertação, do Mestrado em Engenharia Civil (2º CICLO) da Universidade de Aveiro. Pretende-se, com este inquérito, conhecer e, posteriormente, avaliar a opinião dos utilizadores dos refeitórios da UA sobre o ambiente acústico daqueles espaços. Garante-se a confidencialidade no tratamento dos dados e o anonimato dos inquiridos. Agradeço, desde já, a sua colaboração.

* **Necessário**

Relação com a UA: *

Aluno

Idade: *

Sexo: *

Masculino

Selecione o refeitório para responder ao questionário: *

Refeitório do Crasto

1 Com que regularidade frequenta este espaço alimentar: *

- ☐ Raras Vezes (uma vez por semana)
- ☐ Algumas vezes (três vezes por semana)
- ☐ Frequentemente (mais de três vezes por semana)

2 Normalmente quando se desloca a este refeitório, vem: *

- ☐ Sozinho
- ☐ Em grupo (1 amigo)
- ☐ Em grupo (2 ou mais amigos)

3 Qual o período de tempo que escolhe, habitualmente, para se deslocar aos espaços de refeição: *

- ☐ 12h00
- ☐ 12h30 - 13h00
- ☐ 13h30 - 14h00
- ☐ Depois das 14h00

4 Quanto tempo permanece, em média, nas salas de refeição da UA: *

- ☐ 15 minutos
- ☐ 15 a 30 minutos
- ☐ 30 a 45 minutos
- ☐ + de 45 minutos

5 Considera o ruído um factor incomodativo neste espaço de refeição: *

- ☐ Sim
- ☐ Não

6 Assinale a razão/razões pela(s) qual/quais considera o ruído incomodativo:

- ☐ Dificulta o diálogo
- ☐ Diminui concentração
- ☐ Causa mau-estar
- ☐ Potencia ambientes tensos
- ☐ Proporciona tempos de atendimento maior
- ☐ Outras

7 Classifique o ruído neste espaço de refeição: *

- ☐ 1 (Nenhum)
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5 (Muito)

8 Como compara o ruído existente neste refeitório com outros espaços assimilares a este: *

- ☐ 1 (Menos ruidoso)
- ☐ 2
- ☐ 3 (Igual)
- ☐ 4
- ☐ 5 (Muito ruidosa)

9 Considera o ruído um factor inibidor para frequentar este espaço de refeição: *

- ☐ Sim
- ☐ Não

10 Neste espaço, qual é fonte que considera mais influente na produção de ruído? *

- ☐ Cozinha
- ☐ Mobiliário (cadeiras, mesas, tabuleiros)
- ☐ Pessoas
- ☐ Ambiente Exterior

11 Quando encontra este espaço particularmente ruidoso: *

- ☐ Abandona o local
- ☐ Eleva o tom de voz
- ☐ Modera o tom de voz
- ☐ Tem cuidado com a movimentação do mobiliário (tabuleiros, cadeiras, mesas, ...)
- ☐ Adverte para o excesso de ruído
- ☐ Não faz nada

Enviar